O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY
TA’LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT
TEXNIKA UNIVERSITETI

ISSIQLIK TEXNIKASI

USLUBIY KO‘RSATMALAR

Toshkent - 2024

UDK 621.1.016.7

"Issiqlik texnikasi" fanidan 60710500– Energetika (tarmoqlar bo'yicha) ta'lim yo'nalishi sirtqi talabalari uchun uslubiy ko'rsatmalar. Tuzuvchilar: Umarjonova F.Sh., Axmatova S.R., Usmonov J.Yu. Toshkent, ToshDTU, 2024, 72 b.

Issiqlik texnikasi fanidan 60710500– Energetika (tarmoqlar bo'yicha) ta'lim yo'nalishi sirtqi talabalari uchun mo'ljallangan.

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-uslubiy kengashi qaroriga binoan chop etildi. ___ yil -son bayonnoma

Taqrizchilar:

U.O. Odamov	O'R FA Energetika muammolari instituti katta ilmiy xodimi, t.f.n.
X.A.Alimov	TDTU "Sanoat issiqlik energetikasi" kafedrasi mudiri, PhD

1 Bo‘lim
TEXNIK TERMODINAMIKA

Holat parametrlari

Jismning fizik holatini ifodalovchi kattaliklar holat parametrlari deb ataladi. Holat parametrlari quyidagilardir: solishtirma hajm, bosim, harorat, ichki energiya, entalpiya, entropiya va boshqalar. Jismni holatini o‘zgartirishida keskin o‘zgaruvchi parametrlar bosim, solishtirma hajm, haroratdir. Shu parametrlarni ko‘rib chiqamiz:

Bosim. Sirtning birlik yuziga tik ta’sir etuvchi kuchga bosim deyiladi va R harfi bilan belgilanadi.

$$1\ Pa = 1\ N/m^2\ ;\quad 1kPA = 10^3\ Pa;$$

$$1MPa = 10^6\ Pa;\qquad 1bar = 10^5\ Pa;$$

$$1\ atm = 760\ mm\ sim.ust. = 101325\ Pa.$$

Tajriba hisoblashlarida bosimni o‘lchashda texnik atmosfera ishlatiladi.

$$1\ at = 1\ kg/sm^2 = 10^4\ kg/m^2\ ;$$

$$1\ at = 10^4\ kg/m^2 = 0{,}981\ bar;$$

$$1\ bar = 10^5\ N/m^2.$$

Fizik atmosfera - bu simob ustunining balandligi 760 mm, harorati 0^0 S ga teng bo‘lgan dengiz sathidagi bosim deb tushuniladi. Fizik atmosfera - 1 atm belgilanadi.

1 atm =760 mm.simob ust.

1 bar =750 mm.simob ust.

1 atm =10333 mm suv ust.

Ko‘pincha bosim biror-bir suyuqlik sathining balandligi bilan o‘lchanadi. Bunda bosim quyidagicha o‘lchanadi:

$$P=\rho \cdot g \cdot h, \qquad (1.1)$$

bu yerda: ρ - zichlik;
g - erkin tushish tezlanishi;
h - suyuqlik sathining balandligi.

Bosim quyidagi turlarga bo‘linadi:

1. Mutlaq (absolyut) bosim - bu jismga ta’sir etuvchi to‘liq bosimdir. U hech qanday asbob bilan o‘lchanmaydi, balki ifoda bilan aniqlanadi.

Agar ortiqcha bosimni o‘lchab olsak, mutlaq bosim quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$P_{mut}=P_{bar}+P_{man} \qquad (1.2)$$

Agar vakuum bosimni o‘lchab olsak, mutlaq bosim quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$P_{mut}=P_{bar} - P_{vak} \qquad (1.3)$$

2. Barometrik bosim - bu atmosfera bosimi, u barometr bilan o‘lchanadi - P_{bar} (P_{atm}).

3. Manometrik yoki ortiqcha bosim - bu atmosfera bosimidan yuqori bo‘lgan bosim, u manometrlar bilan o‘lchanadi- P_{man} (P_{ort}).

4. Siyraklanish bosimi - bu atmosfera bosimidan kichik bo‘lgan bosimdir. Agar idish ichidagi gazning bir qismini olib tashlasak, idish ichida siyraklanish hosil bo‘ladi. Bu bosimni vakuummetr bilan o‘lchanadi.

Bosimning turli o‘lchov birliklari orasidagi nisbatni quyidagi jadval orqali ko‘rishimiz mumkin.

1.1-jadval

Birliklar	Pa	bar	kg k/sm^2	mm sim.ust.	mm suv ust.
1 Pa	1	10^{-5}	$1,02\cdot10^{-5}$	$7,5024\cdot10^{-3}$	0,702
1 bar	10^5	1,02	1,02	$7,5024\cdot10^{2}$	$1,02\cdot10^{4}$
1 kg/sm^2	$9,8\cdot10^4$	1	1	735	10^4
1 mm sim.ust.	133	$1,36\cdot10^3$	$1,36\cdot10^3$	1	13,6
1 mm suv.ust	9,8067	10^{-4}	$7,35\cdot10^{-2}$	$7,35\cdot10^{-2}$	1

Harorat. Harorat jismning qiziganlik darajasini ko‘rsatadigan kattalikdir.

Harorat ikki xil bo‘ladi:

1. Mutlaq harorat - T, K.
2. Empirik harorat- t, ^{0}C

Hozirgi vaqtda ishlatiladigan asosiy harorat shkalalari Kelvin shkalasi - T, K, Syelsiy shkalasi - t ^{0}C va Farangeyt shkalasi - t, ^{o}F dir.

Turli harorat shkalalari orasidagi bog‘lanish quyidagichadir:

$t\ ^oF = 1{,}8\ t\ ^0C + 32$ $\qquad$ $t\ ^oR = 0{,}8\ t\ ^oC$

$T\ K = t\ ^0C + 273{,}15$ $\qquad$ $t\ ^oRa = 1{,}8\ (t\ ^oC + 273{,}15)$

Solishtirma hajm. Moddaning **solishtirma hajmi** moddaning massa birligida egallagan hajmidan iborat. Solishtirma hajm – *v*, jism massasi M bo‘lsa, to‘liq hajm *V* bilan ifodalansa, quyidagi nisbat bilan aniqlanadi:

$$v = \frac{V}{M}\ ; \quad m^3/kg \tag{1.4}$$

Moddaning solishtirma hajmi, odatda m^3/kg hisobida o‘lchanadi.

Z i ch l i k. Hajm birligidagi modda massasidir.

$$\rho = \frac{M}{V}\ , \ kg/m^3 . \tag{1.5}$$

Masalalar

1. 1 m^3 metanning massasi ma’lum sharoitlarda 0,7 kg ga teng. Shu shart-sharoitlarda metanning zichligi va solishtirma hajmini aniqlang. Havoning bosimi barometr orqali 770 mm sim.ust.ga teng. Bu ko‘rsatkich 0 ^{0}C da olingan. Mana shu bosimni N/m^2 va (bar) kattaliklarda ifodalang.

2. Bug‘ qozonida bosim P= 0,04 MPa, barometrik bosim 725 mm sim.ust.ga teng bo‘lganda mutlaq (absolyut) bosimni toping.

3. Bug‘ qozonidagi bug‘ning harorati 950 ^{o}F ga teng. Bu haroratni ^{0}C da ifodalang.

Ideal gaz holati tenglamasi

Ideal gazning holat tenglamasini keltirib chiqarish uchun ideal gazning asosiy qonunlarini esga olamiz.

Boyl-Mariott harorat o‘zgarmaganda solishtirma hajm bilan mutlaq bosim orasidagi bog‘lanishni aniqlagan. Bu qonun ingliz fizigi Boyl tomonidan 1664 yilda va fransuz ximigi Mariott tomonidan 1676 yilda ochilgan va quyidagicha ta’riflanadi: harorat o‘zgarmaganda, bosimlar nisbati, hajmlar nisbatiga teskari proporsional.

$$T = const ;\ PV = const$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \qquad (1.6)$$

Gey-Lyussak tomonidan yana bir qonun yaratilgan bo‘lib, u jismning bosimi o‘zgarmagan holni tekshirdi.

Bu qonun, bosim o‘zgarmaganda, mutlaq harorat bilan solishtirma hajm orasidagi bog‘lanishni ifodalaydi va quyidagicha ta’riflanadi: bosim o‘zgarmaganda, solishtirma hajmlar nisbati, haroratlar nisbatiga to‘g‘ri proporsional:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \qquad (1.7)$$

Ko‘rilgan qonunlardan shu narsa ayon bo‘ldiki, har birida bitta parametr o‘zgarmas bo‘lib, qolgan ikkalasi orasida bog‘lanish aniqlangan. Har uchchala parametr orasidagi bog‘lanish esa quyidagi ko‘rinishga ega.

$$(p,v,T) = 0 \qquad (1.8)$$

Bu bog‘lanishni aniqlash gazlarning molekulyar-kinetik nazariyasiga asoslangan. Unda shunday deyiladi: bosim gaz molekulalari o‘rtacha kinetik energiyasining 2/3 qismiga to‘g‘ri proporsionaldir.

Shunga asoslangan holda quyidagicha yozamiz:

$$P = \frac{2}{3}\frac{n}{v}\frac{\overline{mw^2}}{2} \tag{1.9}$$

bunda: P - mutlaq bosim;
n - molekulalar soni;
v - 1 kg gazning hajmi;
m - molekulalar massasi;
w - o‘rtacha tezlik;
$\frac{\overline{mw^2}}{2}$ - molekulalarning o‘rtacha kinetik energiyasi.

Shu nazariyaga asosan, mutlaq harorat o‘rtacha kinetik energiyaga to‘g‘ri proporsional.

$$\frac{\overline{mw^2}}{2} = V \cdot T \tag{1.10}$$

bunda: T - mutlaq harorat;
V - proporsionallik koeffitsiyenti.

Shunga asoslangan holda quyidagicha yozamiz.

$$PV=\frac{2n}{3}BT \tag{1.11}$$

Agar yuqoridagi tenglamani gazning ikki holati uchun yozadigan bo‘lsak, ularning har biri uchun quyidagicha yoziladi.

$$p_1v_1=\frac{2}{3}nBT_1 \quad \text{va} \quad p_2v_2=\frac{2}{3}nBT_2 \tag{1.12}$$

Ifodani bo‘lish natijasida quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2} \tag{1.13}$$

Bu tenglamadan shuni aytish mumkinki, solishtirma hajmning mutlaq bosimga bo‘lgan ko‘paytmasini mutlaq haroratga bo‘lgan nisbati o‘zgarmas sondir:

$$\frac{PV}{T} = const \qquad (1.14)$$

Bu 1 kg gazga keltirilgan o‘zgarmas kattalikni R bilan belgilab, gaz doimiysi deb ataymiz.

$$\frac{PV}{T} = R \,, \quad \text{J/kgK} \qquad (1.15)$$

PV=RT - ideal gazning holat tenglamasi deyiladi.

M kg gaz uchun holat tenglamasi:

$$PV=MRT \qquad (1.16)$$

1 kmol gaz uchun holat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$p \cdot V_{\mu} = R_{\mu} \cdot T \qquad (1.17)$$

R_{μ} - universal gaz doimiysi:

8314 J/kmol K =8,314 kJ/kmol K

Har qanday gazning gaz doimiysi quyidagicha aniqlanadi:

$$R = \frac{R_{\mu}}{\mu_{газ}} \qquad (1.18)$$

μ - molekulyar massa.

Masalan:

Kislorodning gaz doimiysi:

$$R_{O_2} = \frac{8314}{\mu_{0_2}} = \frac{8314}{32} = 260 \text{ J/kg·K.}$$

Havoning gaz doimiysi:

$$R_{havo} = \frac{8314}{\mu_{хаво}} = \frac{8314}{29} = 287 \text{ J/kg·K .}$$

Masalalar

4. Agar manometrning koʻrsatkichi p=0,245 mPa, bosim barometr orqali P_{bar} = 93,325 Pa (700 mm sim.ust.)ga teng boʻlsa, u holda bugʻ qozonidagi mutlaq bosimni aniqlang.

5. Simobli barometr bilan oʻlchangan havo bosimi 765 mm sim.ust. ga, harorat $t=20^0$ C ga teng. Bosimni Pa ga aylantiring.

6. CO gazi berilgan boʻlib, uning bosimi 1 bar ga, harorati 15^0 C ga teng. Shu gazning zichligini toping.

7. 1 kg azot 70 ^{0}C harorat va 0,2 mPa bosimda qanday hajmni egallaydi?

Termodinamikaning I qonuni. Termodinamik jarayonlar

Energiyaning saqlanish qonuniga binoan, energiya yoʻqdan bor boʻlmaydi, bordan yoʻq boʻlib ketmaydi, bir turdan ikkinchi turga oʻtadi. Bunday oʻtishda, energiya bir turining muayyan miqdori, ikkinchi tur energiyaning shunga teng miqdoriga aylanadi. Termodinamikaning birinchi qonuni mohiyati jihatidan energiyaning saqlanish qonunidir. U tizimga keltirilgan issiqlik miqdori, uning ichki energiyasi va tizimsining bajarilgan ishi orasidagi miqdoriy bogʻliqlikni belgilab beradi.

Shunga asoslanib, uni quyidagicha ta’riflash mumkin. Tizimga keltirilgan issiqlik miqdori, uning ichki energiyasini oʻzgartirish va ish bajarish uchun sarf boʻladi.

$$Q=(U_2 - U_1)+L \qquad (1.19)$$

Q - tizimga keltirilgan issiqlik miqdori;

U_1 - jarayon boshlanishidagi tizimning ichki

energiyasi;

U_2 - jarayon oxiridagi tizimning ichki energiyasi;

L - tizimning bajargan ishi.

Agar birinchi qonunni differensial shaklda ifodalasak va gaz bajargan ishni 1 kg gaz uchun taalluqli desak, u holda (1.19) tenglamani quyidagicha yozishimiz mumkin.

$$dq=du+d1 \tag{1.20}$$

$$dl=pdV \tag{1.21}$$

desak, unda tenglamani quyidagicha yozamiz:

$$dq=du+pdV \tag{1.22}$$

(1.22) tenglama termodinamikaning birinchi qonunini analitik ko‘rinishi ya’ni ichki energiya ko‘rinishidagi ifodasidir.

Endi termodinamikaning birinchi qonuni analitik ko‘rinishini entalpiya yordamida yozilishini ko‘rib chiqamiz. Buning uchun ikki sonning differensialligini yozamiz:

$$\mathrm{d}(pv)=pdv+vdp \tag{1.23}$$

undan

$$pdV=d(pV)\text{-}Vdp \tag{1.24}$$

(1.24) tenglamani hisobga olib,

$$dq=dU+d(pV)\text{-}VdR \tag{1.25}$$

(1.25) tenglamani hisobga olib, quyidagicha yozamiz:

$$dq=d(u+pV)\text{-}Vdp \tag{1.26}$$

$$u+pV=h \tag{1.27}$$

deb belgilaymiz, natijada quyidagi tenglamaga ega bo‘lamiz:

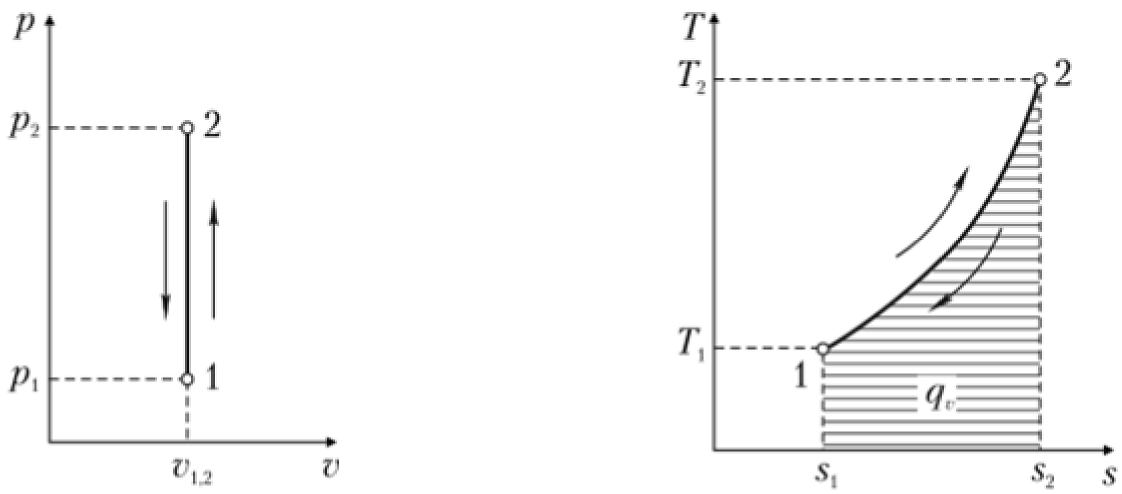
$$dq=dh-Vpd \tag{1.28}$$

(1.28) tenglama termodinamika birinchi qonunining entalpiya yordamida yozilishidir.

Izoxorik jarayon

Hajm o‘zgarmaydigan jarayonga izoxorik jarayon deyiladi.

$$V=const \tag{1.29}$$



a b

1.1-rasm. Izoxorik jarayonni *p-v* (a) va *T-s* (b) diagrammalarda ko‘rinishi

Parametrlar orasidagi bog‘lanish.

Buning uchun izoxorik jarayoni sodir bo‘lishida gazning 1 va 2-chi nuqtalari uchun holat tenglamasini yozamiz.

$$P_1V_1=RT_1 \tag{1.30}$$

$$P_2V_2=RT_2 \tag{1.31}$$

(1.30) va (1.31)ni bo‘lib quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{P_1}{P_2}=\frac{T_1}{T_2} \qquad (1.32)$$

Ichki energiyaning o‘zgarishi:

$$dU=C_v dT \qquad (1.33)$$

$$dU=Cv\,(T_2\text{-}T_1)=Cv(t_2\text{-}t_1) \qquad (1.34)$$

Jarayonning ishi:

$$L=\Big|_{V_1}^{V_2}\ pdV \qquad (1.35)$$

Termodinamikaning birinchi qonuniga binoan

$$dq=dU+dl$$

V = const jarayon bo‘lgani uchun,

$dl=o$ $\qquad$ $dq=du,$ $\qquad$ $q_v=C_v\,dt,$

Jarayonning tahlilidan ma’lumki, sarflangan issiqlik jarayoni faqat ichki energiyaning o‘zgarishi uchun sarf bo‘ladi.

Masalalar

8. Boshlang‘ich parametrlari 0,3 MPa, 15^0C va 0,8 m^3 bo‘lgan havoning bosimini doimiy hajmda to 0,1 MPa gacha kamaytirish uchun qanaqa haroratgacha sovitish kerak? Buning uchun qancha issiqlikni olib ketish kerak?

Havoning issiqlik sig‘imini doimiy deb hisoblang.

Yechish:

1. Holatning tenglamasidan havoning massasini topamiz:

$$M=\frac{P_1V_1}{RT_1}=\frac{0{,}3\cdot10^6\cdot0{,}8}{287\cdot288}=2{,}9 \quad \text{kg.}$$

2. Oxirgi harorat

$\frac{P_1}{P_2}=\frac{T_1}{T_2}$ $T_2=\frac{P_2 T_2}{P_1}=\frac{0{,}1-288}{0{,}3}=96K;\quad t_2=-177^0 C$

3. Olib ketilishi kerak bo‘lgan issiqlik

$Q=MC_{vm}\,(t_2\text{-}t_1)$ bu yerda,

$S_{vm}=\frac{\mu C_v}{\mu}=\frac{20{,}93}{28{,}95}=0{,}722$

$Q_v=2{,}9\cdot 0{,}722\cdot 10^3(-177+15)=-329\ kJ$

9. Yopiq idishda harorati $t_1=10^0$C va siyraklanishi P_1=20 mm sim.ust. bo‘lgan gaz joylashgan. Barometr 75 kPa ni ko‘rsatyapti. Gaz sovitilgandan keyin siyraklanish 150 mm sim.ust. ga teng bo‘lib qoldi.

Gazning oxirgi haroratini toping.

10. Hajmi $V=0{,}5m^3$ idishda, bosimi P_1=6 MPa va harorati $t_1=527^0$ C CO_2 gazi joylashgan. Agar undan 420 kJ issiqlik olib ketilsa, bosim qanchaga o‘zgaradi?

Izotermik jarayon

Harorat o‘zgarmaydigan jarayonga izotermik jarayon deyiladi, tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$T=const \tag{1.36}$$

1-chi va 2-chi holatlar o‘zgarishidagi holat tenglamasini yozamiz:

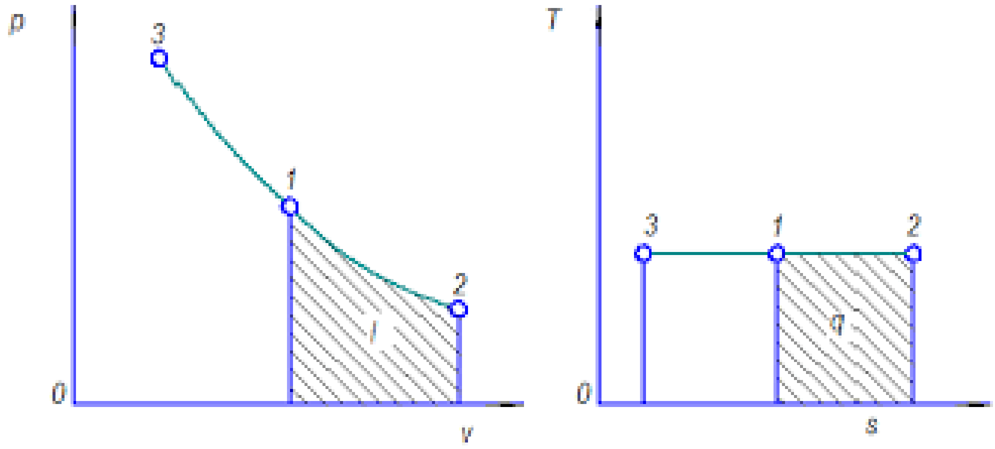
$$p_1V_1=RT_1 \tag{1.37}$$

$$p_2V_2=RT_2 \tag{1.38}$$

(1.37) ni (1.38) ga bo‘lamiz:

$$\frac{P_1}{P_2}=\frac{V_2}{V_1} \tag{1.39}$$

(1.39) Boyl- Mariott qonunining analitik ifodasidir.



a b

1.2-rasm. Izotermik jarayonni *p-v* (a) va *T-s* (b) diagrammalarda ko‘rinishi

Izotermik jarayonni P-V va T-s diagrammasini quyidagi chizmalarda chizamiz.

T=const bo‘lgani uchun $\Delta T=0$ bo‘ladi. Shuning uchu $\Delta U=C_v$

$$(T_2-T_1)=0 \tag{1.40}$$

Jarayonning bajarilgan ishini quyidagicha yozamiz:

$$dl_p=pdV \tag{1.41}$$

(1.41) ni integrallasak

$$L_p=\int_{v_1}^{v_2} pdV \tag{1.42}$$

$\frac{RV}{V}$=RT bundan R=$\frac{RT}{V}$ ni aniqlaymiz va olib borib (1.42) ga qo‘yamiz.

$$L=\int_{v_1}^{v_2} RT\frac{dV}{V} \tag{1.43}$$

$$L=RT\,\ell n\,\frac{V_1}{V_2} \tag{1.44}$$

Jarayonning entropiyasining o‘zgarishini quyidagicha yozamiz:

$$\Delta S=R\ell n\,\frac{V_2}{V_1} \qquad (1.45)$$

$$\Delta S=Rn\,\ell\frac{P_1}{P_2} \qquad (1.46)$$

T=const bo‘lgani uchun dU=0 bo‘ladi, shuning uchun

$$dq=dl \qquad (1.47)$$

Izotermik jarayonda keltirilgan issiqlik ish bajarish uchun sarf bo‘ladi.

Masalalar

11. 1 kg havoni izotermik siqish natijasida bosimi 0,1 MPa dan to 0,5 MPa gacha ko‘tarilyapti. Hajmining kamayishini 10 ^{0}C va 100 ^{0}C haroratlar uchun aniqlang.

Yechish:

a) 10 ^{0}C uchun holat tenglamasidan

$$v_1=\frac{RT}{P}=\frac{287{,}195\cdot 283}{0{,}1\cdot 10^6}=0{,}8128\ m^3/kg$$

$$v_1=\frac{RT}{P}=\frac{287{,}195\cdot 283}{0{,}5\cdot 10^6}=0{,}1626\ m^3/kg$$

v_1-v_2= 0,65 m^3/kg

b) 100 ^{0}C uchun holat tenglamasidan

$$v_1=\frac{287{,}195\cdot 373}{0{,}1\cdot 10^6}=1{,}07\ m^3/kg$$

$$v_2=\frac{287{,}195\cdot 373}{0{,}5\cdot 10^6}=0{,}21\ m^3/kg$$

v_1-v_2= 0,86 m^3/kg.

12. Hajmi 40 l ballonda joylashgan va mutlaq bosimi 10 MPa harorati t=15 ^{0}C bo‘lgan azot bilan, sig‘imi 100 sm^3 elektr lampa kolbasining qanchasini to‘ldirish mumkin, agar kolbaning ichida, azot o‘zining oldingi haroratida 200 mm sim. ust. ga teng siyraklanishga ega bo‘lishi kerak bo‘lsa.

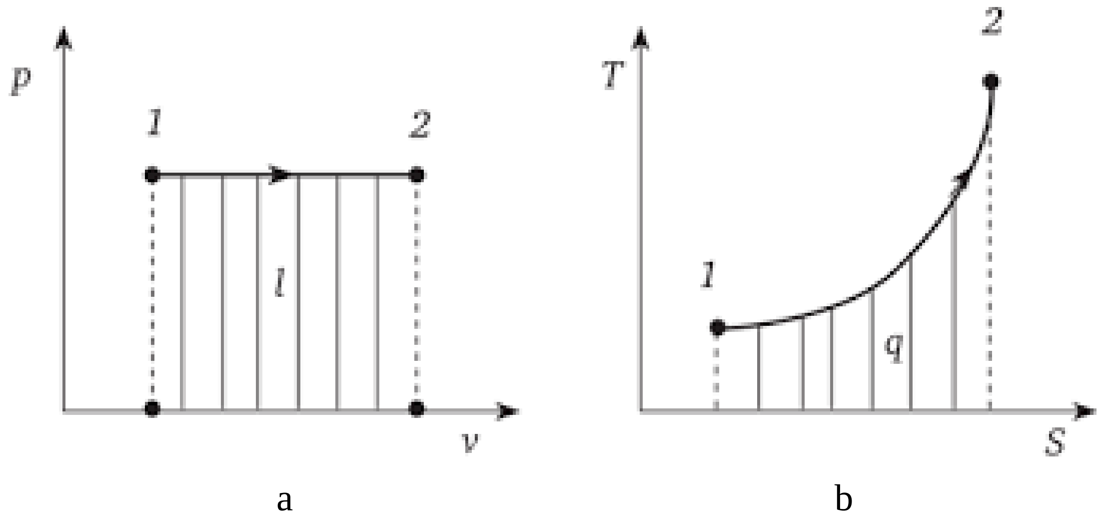
13. Silindrda porshen tagida mutlaq bosimi P_1= 0,12 MPa havo joylashgan. Agar porshenga qo‘shimcha ravishda G = 5 kg yuk qo‘yilsa, porshenning siljishini va izotermik siqish jarayonining oxiridagi P_2 bosimini toping.

Porshenning diametri d=100 mm, boshlang‘ich holatining balandligi h_1=500 mm.

Izobarik jarayon

Termodinamik jarayonda bosim o‘zgarmasdan qoladigan jarayonga izobarik jarayon deyiladi va quyidagi tenglama orqali yoziladi, R=const.

Bu jarayonni ishchi va issiqlik diagrammada quyidagicha chiziladi:



1.3-rasm. Izobarik jarayonni *p-v* (a) va *T-s* (b) diagrammalarda ko‘rinishi

Gazlarning holat tenglamasiga binoan, boshlang‘ich va oxirgi nuqtalar uchun:

$$P_1 V_1 = RT_1 \quad (1.48)$$

$$P_2 V_2 = RT_2 \quad (1.49)$$

(1.48) ni (1.49) ga bo‘lib, quyidagini hosil qilamiz.

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{T_1}{T_2}; \qquad \frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}\frac{V}{T}=\text{const} \tag{1.50}$$

Gey-Lyussak qonuni

Ichki energiyaning o‘zgarishi quyidagicha yoziladi:

$$dU=S_v dT\ ; \quad \Delta U=C_v(T_2-T_1)=C_v(t_2-t_1) \tag{1.51}$$

Jarayonning ishini quyidagicha yozamiz.

$$dl=pdV, \qquad 1=p(V_2-V_1) \tag{1.52}$$

Jarayonni issiqligi:

$$dq=dU+dl \qquad (1.53);$$

$$Q_p=C_p dT \qquad (1.54);$$

$$Q_p=C_p(T_2-T_1) \qquad (1.55).$$

Izobarik jarayonda berilgan issiqlik miqdori qisman ish, qisman ichki energiyaning o‘zgarishi uchun sarflanadi.

Masalalar

14. Qozon qurilmasining havo qizitgichida havo 20^0C dan to 250^0C gacha, 0,1 MPa doimiy mutlaq bosimda isitilayapti. Havoning issiqlik sig‘imining haroratga bog‘liqligini hisobga olgan holda, 1 kg havoni isitish uchun sarf bo‘ladigan issiqlikni va havoning kengayishi natijasida bajariladigan solishtirma ishni aniqlang.

15. Gazga, doimiy bosimda keltirilayotgan issiqlik, uning ichki energiyasini o‘zgarishiga va ish bajarishga sarf bo‘layapti. Agar izobar qizdirilayotgan 1 kg havoning kengayish ishi 20,5 kJ ni tashkil qilsa, keltirilayotgan issiqlik miqdorini va havo haroratining o‘zgarishini aniqlang. Issiqlik sig‘imini doimiy deb hisoblang.

Adiabatik jarayon

Tizimga issiqlik keltirilmasligi va undan issiqlik olinmasligi uchun $\Delta S=0$, binobarin $dq=0$, shuning uchun entropiya o‘zgarmay qoladi, $S = const$.

Ko´rib turibmizki, bu jarayonda P ham, V ham, T ham o‘zgaradi. Bular orasidagi bog‘lanishni topish uchun termodinamikaning birinchi qonunini yozamiz:

$$dq = c_v dT - vdP \tag{1.56}$$

$$dq = c_v dT + Pdv \tag{1.57}$$

(1.56) ni (1.57) ga bo´lamiz:

$$\frac{c_p dT}{c_V dT} = -\frac{vdP}{Pdv} \quad \text{yoki} \quad \Delta S = c_p \ln\frac{v_2}{v_1} + c_V \ln\frac{P_2}{P_1} \tag{1.58}$$

$$\frac{c_p}{c_V} = k \tag{1.59}$$

k - adiabata ko´rsatgichi

$$\ln\frac{P_2}{P_1} = k\ln\frac{v_2}{v_1}; \qquad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^k \tag{1.60}$$

$$P_1 v_1^k = P_2 v_2^k$$

bundan:

$$Pv^k = const \tag{1.61}$$

bu ifoda adiabatik jarayonning tenglamasi deyiladi. Endi parametrlar orasidagi bog‘lanishni topamiz:

Bosim va hajm orasidagi bog´lanish:

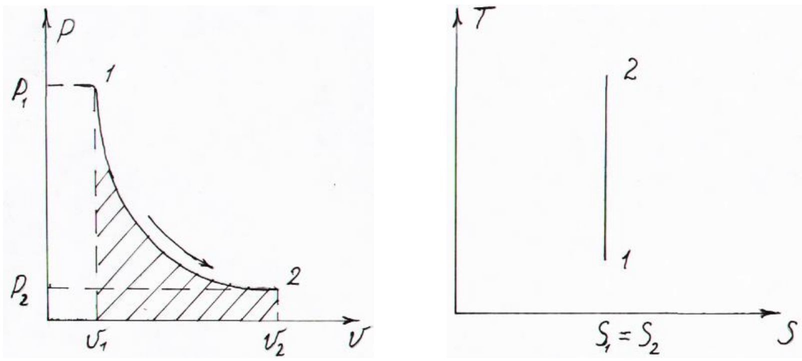
$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k$$

Haroratva hajm orasidagi bog´lanish:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}$$

Harorat va bosim orasidagi bog´lanish:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$



a b

1.4-rasm. a – adiabatik jarayonning *P-v* diagrammada ko´rinishi; b-adiabatik jarayonning *T-s* diagrammada ko´rinishi

Ichki enyergiyaning o‘zgarishi:

$$\Delta u + l = 0, \quad \Delta u = c_v (T_2 - T_1) \qquad (1.62)$$

Jarayonning ishi:

$$l = \frac{R}{k-1}(T_1 - T_2) = \frac{1}{k-1}(P_1 v_1 - P_2 v_2) \qquad (1.63)$$

Jarayonning issiqligi

$$q=0$$

Entropiyaning o‘zgarishi

$$\Delta s=0$$

Bu jarayonda ish ichki enyergiyaningo‘zgarishi hisobiga amalga oshiriladi.

Masalalar

16. 1 kg havo boshlang‘ich harorati 15^0C va boshlang‘ich bosimi 1 bar bilan adiabatik siqiladi. Ishni, oxirgi hajmni va oxirgi haroratni aniqlang.

Adiabatik jarayondagi parametrlar orasidagi bog‘lanishdan quyidagini topamiz.

$$\frac{T_2}{T_1}=(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

bundan: $T_2=T_1(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$ k=1,4 deb qabul qilamiz.

$T_2=288\cdot 8^{\frac{0,4}{1,4}}=288\cdot 8^{0,286}=288\cdot 10811=521$ K

$T_2=521-273=248^0$C.

Sarflangan ish quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\lambda=\frac{R}{k-1}(T_1-T_2)=\frac{0,287}{0,4}(288-521)=-167,2 \text{ kJ/kg.}$$

Oxirgi hajmni holat tenglamasidan topamiz:

$P_1V_1= RT_2$ dan: $V_2=\frac{RT_2}{P_2}=\frac{287\cdot 521}{8\cdot 10^5}=0,74$ m^3/kg

17. Havo 4,5 bar bosim bilan 1,2 bar bosimgacha kengayganda, uning harorati – 45 ^{0}C gacha soviydi. Boshlang‘ich haroratni va 1 kg havoning bajargan ishini aniqlang.

18. $t_1=25^0$C haroratli havo adiabatik sovishi natijasida uning harorati $t_2=-55^0$C bo‘ladi, bosim 1 bar gacha kamayadi. Boshlang‘ich bosimni, 1 kg havoning kengayishidagi ishini toping.

Politropik jarayon

Jarayonning tenglamasi.

$$Pv^n = const$$

$n= \pm\infty$ o‘zgaradi.

Tenglamani keltirib chiharish uchun termodinamikaning birinchi qonunining ham ichki enyergiyaning o‘zgarishi yordamida yozilishi ifodasini ko´ramiz:

$$dq=c_n dT=c_V dT+Pdv \tag{1.64}$$

$$q=c_n dT=c_p dT-vdP \tag{1.65}$$

(1.64) ni (1.65) ga bo´lamiz:

$$\frac{(c_n - c_V)dT}{(c_n - c_P)dT} = -\frac{vdP}{Pdv} \qquad c_n = c_V \frac{n-k}{n-1}$$

bu yerda c_n – politropik jarayonning issiqlik sig´imi

$$\frac{c_n - c_V}{c_n - c_P} = -\frac{v}{P}\frac{dP}{dv}$$

$$\frac{c_n - c_V}{c_n - c_P} = n \tag{1.66}$$

deb belgilasak, (n-politropik ko´rsatkich)

$$n = -\frac{vdP}{Pdv}$$

va (1.66) ifodani integrallaymiz:

$$\ln\frac{P_2}{P_1} = n\ln\frac{v_2}{v_1} \;;$$

undan Pv^n =const hosil bo´ladi, ushbu ifoda politropik jarayonning tenglamasi deyiladi.

Parametrlar orasidagi bog‘lanishni topamiz:
Bosim va hajm orasidagi bog´lanish:

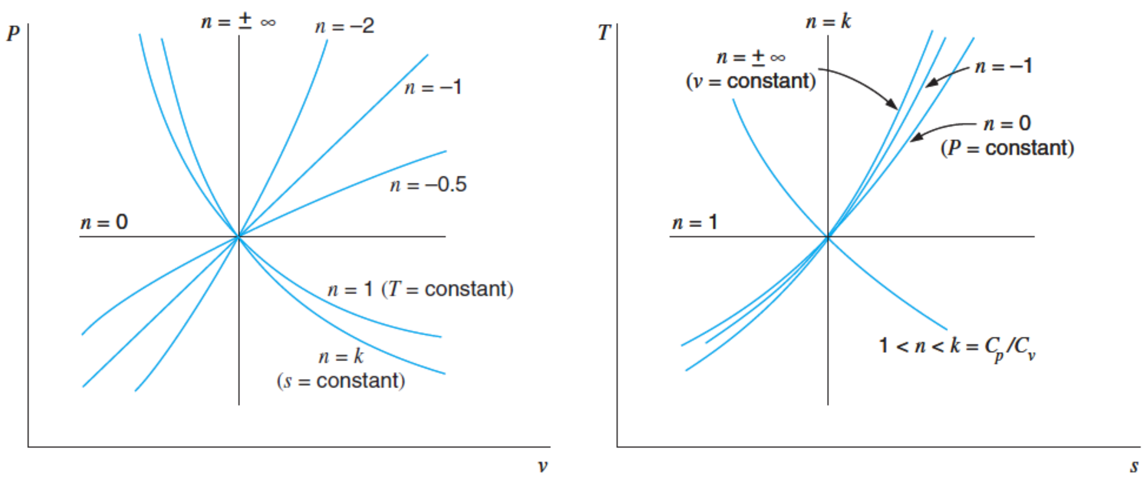
$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^n$$

Haroratva hajm orasidagibog´lanish:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1}$$

Harorat va bosim orasidagi bog´lanish:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} ; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$$



a b

1.5-rasm. Politropik jarayonning *P-v* (a) va *T-s* (b) diagrammada ko´rinishi

Har bir jarayon uchun politropik korcatkichning qiymati:

n=0	P=const
n=1	Pv=const

$$n=k \qquad Pv^k=const$$

$$n=\pm\infty \quad V=const$$

3. Ichki enyergiyaningo‘zgarishi: $\Delta u = c_V \Delta T$
4. Jarayonning ishi:

$$l_{pol} = \frac{R}{n-1}(T_1 - T_2) \tag{1.67}$$

$$l_{pol} = \frac{1}{n-1}(P_1 v_1 - P_2 v_2) \tag{1.68}$$

$$l_{pol} = \frac{RT}{n-1}[1 - (\frac{P_2}{P_1})^{\frac{n-1}{n}}] \tag{1.69}$$

5. Jarayonning issiqligi

$$q = c_n\,(t_2 - t_1) \tag{1.70}$$

6. Entropiyaningo‘zgarishi

$$\Delta s = c_n \ln \frac{T_1}{T_2} \tag{1.71}$$

Bu jarayonni tahlil qilish shuni ko´rsatadiki, politropik jarayon eng asosiy jarayon bo´lib qolgan, ko´rib chiqilgan hamma jarayonlar politropa ko´rsatgichining o‘zgarishi, ya’ni $n=\pm\infty$ gacha natijasida istalgan bir jarayonga kelishi mumkin, uning har birini tavsifini topish mumkin bo´ladi. Bu jarayonni ko´rib chiqishda uni uchta guruhga bo´lib keltirilgan va olib ketilgan issiqlik miqdorini manfiy yoki musbat ekanligini aniqlash mumkin bo´ladi.

Kengayish jarayoni:

birinchi guruh $n<1$- issiqlik keltiriladi $q>0$, gazning Ichki enyergiyasi ortadi, $\Delta U>0$;

ikkinchi guruh: $k>n>1$ - issiqlik keltiriladi $q>0$, gazning Ichki enyergiyasi kamayadi, $\Delta U<0$;

uchinchi guruh: n>k - issiqlik olib ketiladi q<0, gazning Ichki enyergiyasi kamayadi, $\Delta U<0$.

Siqilish jarayoni:

birinchi guruh: n<1 - issiqlik olib ketiladi, gazning ichki enyergiyasi kamayadi.

ikkinchi guruh: k>n>1 - issiqlik olib ketiladi, gazning ichki enyergiyasi ortadi.

uchinchi guruh: n>k - issiqlik keltiriladi, gazning Ichki enyergiyasi ortadi.

Shunday qilib, biz asosiy jarayonlarning tahlilini ko´rib chiqdik.

Masalalar

19. Ikki atomli gaz bilan politropik jarayon bajariladi. Politrop ko‘rsatkichi 1,18. Harorat 150 ^{0}C dan -14 ^{0}C gacha pasayadi. Buning natijasida 149 kJ/kg issiqlik sarflanadi. Qanday gaz ekanligini aniqlang.

Politropik jarayonda issiqlikni quyidagi ifodadan aniqlanadi.

$$Q=c_V\frac{n-k}{n-1}(t_2-t_1)$$

$$149=c_V\frac{1{,}18-1{,}4}{1{,}18-1}(-14-150)$$

$$149=c_V\frac{-0{,}22}{0{,}18}(-164)$$

$$149=200C_V$$

$$c_V=\frac{149}{200}=0{,}745 \text{ kJ/kg k}$$

Issiqlik sig‘imining qiymati c_V=0,745 kJ/kg·K

Endi μ ni topamiz:

$$\mu=\frac{\mu c_V}{c_V}=\frac{20{,}33}{0{,}745}=28 \text{ kg/kmol.}$$

Demak, azot gazi ekan.

20. 1 kg argon gazi berilgan bo‘lib, uning boshlang‘ich bosimi 1,8 MPa bo‘lib, politropik jarayon bajarilishi natijasida uning bosimi $P_2=2P_1=3{,}6\cdot10^6$

Pa gacha o‘zgaradi va hajmi V_2=0,1 m^3/kg gacha o‘zgaradi. Bajarilgan ishni va issiqlikni aniqlang.

21. 1 kg azotni politrop siqish natijasida 100 kJ issiqlik olib ketilyapti va 150 kJ ish sarflanayapti. Agar gazning boshlang‘ich harorati 15^0C bo‘lsa, uning oxirgi haroratini toping.

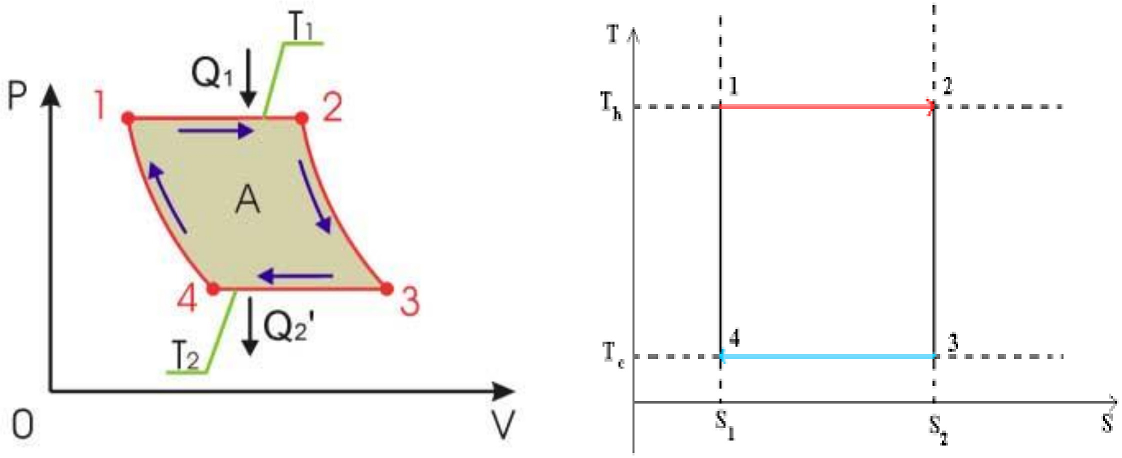
Termodinamikaning II qonuni. Karno sikli

Termodinamikaning ikkinchi qonuni esa fizik jarayonning yo‘nalishini anglatuvchi qonundir.

Ma’lumki, issiqlik miqdori qizitilgan jismdan unga nisbatan sovuqroq jismga o‘tadi. Termodinamikaning ikkinchi qonuni energiyaning bir turdan ikkinchi turiga o‘tishiga ega bo‘lgan jarayonlarga taalluqlidir. Masalan, biror qattiq jism yuqoridan yerga tushayotganda, uning potensial energiyasi kinetik energiyaga aylana boradi va kelib yerga urilgan paytda, uning mexanik energiyasi issiqlik energiyasiga aylanadi. Umuman, ko‘plab o‘tkazilgan tajribalar shuni ko‘rsatadiki, energiyaning barcha turi issiqlik energiyasiga to‘la o‘tishi mumkin, ammo issiqlik energiyasi boshqa turdagi energiyaga qisman o‘tadi. Tajribalardan olingan bu ikki dalil termodinamikaning ikkinchi qonuni ta’riflashga imkon beradi. Bu qonun to‘la fizik jarayonlarning yo‘nalishini aniqlaganligi sababli, unga turlicha bir-biriga ekvivalent bo‘lgan ta’riflar berilgan.

Klauzius termodinamikaning ikkinchi qonunining quyidagicha ta’riflaydi: Issiq jismdan sovuq jismga issiqlik miqdori berishdan tashqari hech qanday o‘zgarish ro‘y bermaydigan jarayon qaytmas jarayon bo‘ladi, yoki boshqacha qilib aytganda, tizimda hech qanday o‘zgarish bo‘lmay turib issiqlik miqdori o‘z-o‘zicha sovuq jismdan unga nisbatan issiq bo‘lgan jismga o‘tmaydi.

Karno sikli to‘rtta jarayondan tashkil topgan bo‘lib, bulardan ikkitasi izotermik kengayish va izotermik torayish, adiabatik kengayish va adiabatik torayish jarayonlari ostida (1.6-rasm) **1, 2, 3, 4** nuqtalarida kesishadi. Shu 12341 sikli Karno sikli bo‘ladi. Karno siklini hosil qilish uchun, isitgich, sovitgich va ishchi jism bo‘lishi lozim. Ishchi jism sifatida bir mol ideal gazni olinadi.



a b

1.6-rasm. Issiqlik dvigateli uchun Karno siklining *P-v* (a) va *T-s* (b) diagrammalarda ko‘rinishi

Har bir izotermik jarayon vaqtida (rasmda 1-2, 3-4 egri chiziqlar), issiqlik manbaining (isitgich yoki sovitgichning) harorati ishchi jism haroratiga teng qilib olinadi, aks holda issiqlik almashinuvi qaytmas jarayonni beradi.

Tizim (ishchi jism) 1 (P_1, V_1) holatidan 2 (P_2, V_2) holatiga izotermik ($T=T_1$) o‘tsin. U holda, tizim qabul qiladigan issiqlik miqdori ish bajarishga sarf bo‘ladi,

$$Q_1 = L_1 = RT_1 Ln\frac{V_2}{V_1}. \tag{1.72}$$

So‘ngra, tizimni 2 (P_2,V_2) holatidan 3 (P_3,V_3) holatigacha adiabatik kengaytiramiz. Bu holda, tizim ichki energiya hisobiga ish bajarib, tizimninng harorati T_1 dan T_2 gacha pasayadi ($T_1>T_2$):

$$L = C_V(T_1 - T_2). \tag{1.73}$$

Endi 3 (P_3,V_3) holatidan 4 (P_4,V_4) holatigacha tizimni izotermik siqamiz. Bunda tizimning hajmi kichrayganligi tufayli, uning harorati ko‘tarilishga intiladi. Lekin, jarayon izotermik bo‘lganligi sababli, tizim ma’lum bir Q_2 issiqlik miqdorini sovitgichga uzatadi:

$$Q_2 = L_3 = RT_2 Ln\frac{V_4}{V_3}. \qquad (1.74)$$

Oxirida, tizimni 4 (P_4,V_4) holatdan, 1 (R_1V_1) holatga kelgunga qadar, adiabatik siqiladiki, uning harorati T_2 dan T_1 gacha ko‘tariladi. Bu holda bajariladigan ish esa,

$$L_4=c_V\,(T_4-T_1) \qquad (1.75)$$

bo‘ladi.

Shunday qilib, sikl davomida umumiy energiya almashinuvi quyidagicha xarakterlanadi: tizim yuqori haroratga ega bo‘lgan manbadan Q_1 issiqlik miqdorini qabul qiladi. Shu issiqlik miqdorining $Q_1 \cdot \frac{T_1}{T_2}$ - qismi sovitgichga uzatiladi, qolgan $Q_1 \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ - qismi esa, tizimning tashqi muhit ustidan ish bajarishiga sarf bo‘ladi.

Yuqorida biz tekshirgan ideal gaz uchun, kvazistatik Karno siklininng foydali ish koeffitsiyenti quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi.

$$\eta_t^{\kappa} = \frac{l_4}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \qquad (1.76)$$

(7.5) ifodasidan ko‘rinib turibdiki, Karno siklining foydali ish koeffitsiyentining qiymati T_1 va T_2 larning o‘zgarishiga bog‘liq ekan.

Masalalar

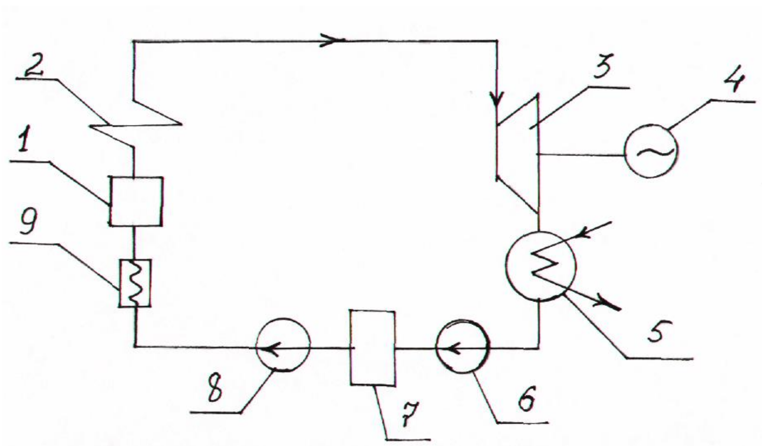
22. Bosimi P=8 bar va t=250^{0}C bo‘lgan 1 kg kislorodning entropiyasini aniqlang. Issiqlik sig‘imi o‘zgarmas deb hisoblang.

23. Haroratlari t_1=627 ^{0}C va t_2=27 ^{0}C bo‘lgan 1 kg havo Karno siklini bajaradi, bunda eng yuqori bosim 60 bar, eng quyi esa 1 bar ga teng.

Bug‘ turbina qurilmalari

Hozirgi zamon issiqlik elektr stansiyalarida ish bajarish jarayoni ishchi jism bo‘lgan suv bug‘ini ishlatish bilan, uning issiqlik energiyasini mexanik

energiyaga aylantirish yo‘li bilan birga olib boriladi. Bug‘ni hosil qilish bug‘ generatorlarida olib boriladi. Kimyoviy tozalangan suv va yoqilg‘i bug‘ qozoniga yuborilib, u yerda yonish jarayoni amalga oshiriladi, shuning hisobiga bug‘ qozonning quvurlaridagi suv qaynay boshlaydi, suv bug‘ aralashmasi hosil bo‘ladi. Hosil bo‘lgan aralashma bug‘ qozonning barabaniga tushib, u yerda suv va bug‘ bir-biridan ajraladi. Bug‘ bug‘ qizdirgichga yuboriladi. U yerda bug‘ yanada qizdirilib, o‘ta qizigan bug‘ga aylantiriladi. O‘ta qizigan bug‘ turbinaning parraklariga urilib harakat hosil qiladi, ya’ni bug‘ning issiqlik energiyasi avval kinetik energiyaga (turbina soplosida), so‘ngra mexanik energiyaga aylanadi. Ishlatilib bo‘lingan bug‘ juda kichik bosimda bo‘lgani uchun kondensatorga kelib tushadi va qaytadan suvga aylanadi, bunday massani kondensat deyiladi. U nasos orqali bakka yig‘ilib, so‘ngra ta’minot nasos orqali isitgichga yuborilib, u yerda ma’lum haroratgacha isitilgan holda yana bug‘ qozoniga yuboriladi va bu aylanma jarayon yana davom etadi.



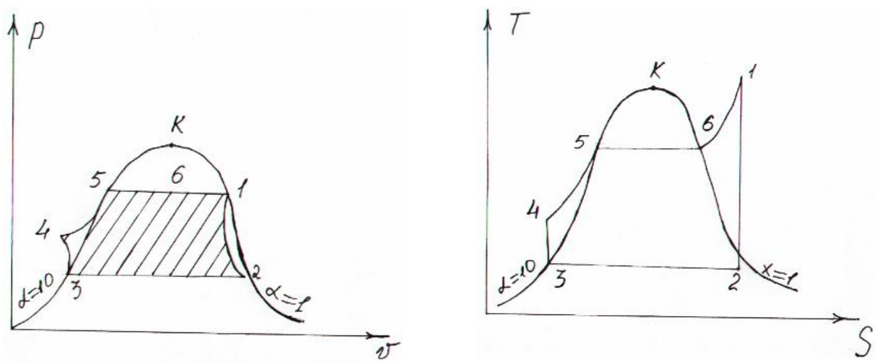
1.7-rasm. Bug‘ turbina qurilmasining chizma tasviri:
1-bug‘ qozoni; 2-bug‘ qizdirgich; 3-bug‘ turbinasi; 4-elektr generator; 5-kondensator; 6-kondensat nasosi; 7-bak; 8-ta’minlovchi nasos; 9-isitgich.

Bunday siklni Renkin sikli deyiladi. Uning FIKi quyidagicha aniqlanadi:

$$h_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2^{'}} \qquad (1.77)$$

bu yerda: h_1, h_2 - turbinadagi adiabatik kengayish jarayoni sodir bo‘lishidagi bug‘ning boshlang‘ich va oxirgi entalpiyasi.

$h_2^{'} = S_{pk} t_2$ - P_k bosimdagi qaynayotgan suvning entalpiyasi.



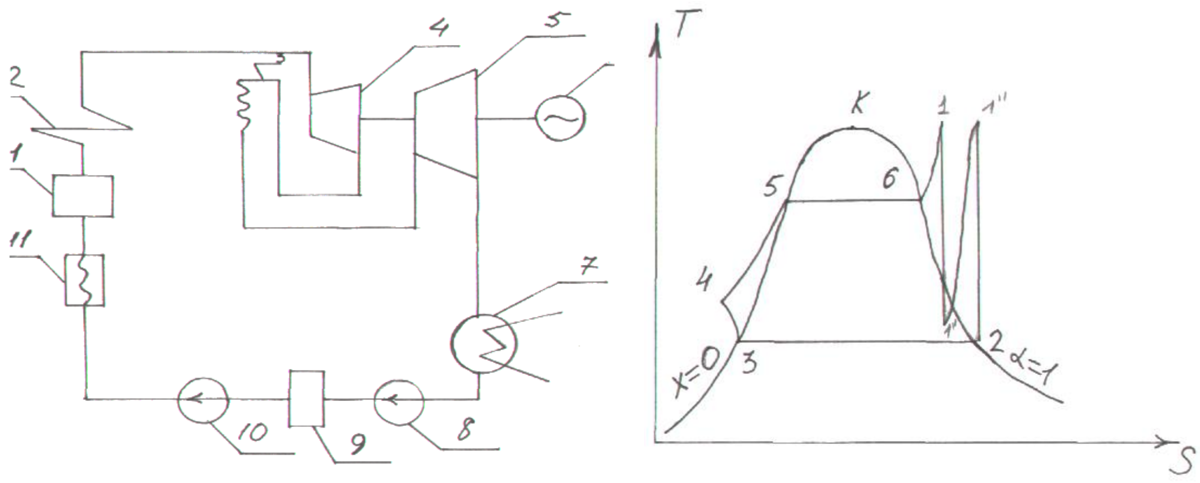
a b

1.8-rasm. Renkin siklining P-V (a) va T-s (b) diagrammalari

Bu ifodaga kattaliklarni suv bug‘ining diagrammasidan olinadi. Keyingi vazifa shu siklning FIKni oshirishdan iborat. Buning uchun ishlatilayotgan bug‘ni ikkilamchi qizdiriladi, ya’ni turbinaning yuqori bosim qismida ishlatilgan bug‘ oraliq qizdirgichda qizdirilib, turbinaning past bosimli qismiga yuboriladi. Bunday siklning ishlatilishi natijasida Renkin siklining FIK bir necha foizga ortadi. Diagrammadagi chiziqlar quyidagi termodinamik jarayonlarni ifodalaydi: 1-2 -turbinadagi adiabatik kengayish jarayoni; 2-3 -kondensatordagi ish jarayoni; 3-4 -nasos ishi; 4-5 - ekonomayzer ishi; 5-6 - bug‘ qozonida bug‘ hosil bo‘lishi; 6-1-bug‘ning bug‘ qizdirgichda qizdirilishi.

Oraliq qizdirish

Renkin siklini FIK ni oshirish uchun bug‘ni oraliq qizdirgichda qizdiriladi, ya’ni turbinaning yuqori bosimli qismida ishlatilgan bug‘ni oraliq qizdirgichda qizdirilib, uning haroratini oshirib, so‘ngra yuqori haroratli bug‘ni turbinaning keyingi qismlariga yuboriladi. Buning natijasida bug‘ turbina qurilmasining FIK 6-8 % ortadi.



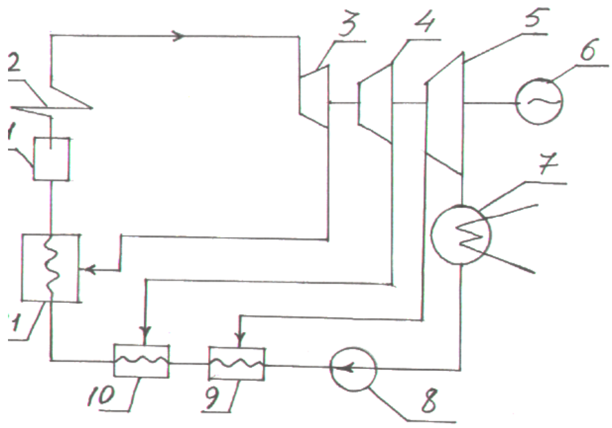
a b

1.9-rasm. a) bug‘ni oraliq qizdirishning chizma tasviri; b) Oraliq qizdirishning T-s diagrammasi:

1-bug‘ qozoni; 2- bug‘ qizdirgich; 3-oraliq qizdirgich; 4-turbinaning yuqori bosimli qismi; 5-turbinaning past bosimli qismi; 6-elektr generator; 7-kondensator; 8-kondensat nasosi; 9-bak; 10-ta’minlovchi nasos; 11- isitgich.

Bug‘ turbina qurilmalarida suvni regenerativ isitish

Suvni regenerativ isitishda isitgichlar o‘rnatilib, shu isitgichlarda turbinaning yuqori bosimli qismidan bug‘ yuborilib uning harorati hisobiga isitgichlardagi kondensat ma’lum haroratgacha isib, so‘ngra bug‘ qozoniga yuboriladi.



1.10-rasm. Suvni regenerativ isitilishining chizma tasviri:

1-bug‘ qozoni; 2-bug‘ qizdirgich; 3-bug‘ turbinasining yuqori bosimli qismi; 4- bug‘ turbinasining o‘rtacha bosimli qismi; 5- bug‘ turbinasining past bosimli qismi; 6- elektr generator; 7- kondensator; 8-kondensat nasosi; 9-past bosimli isitgich; 10- o‘rtacha bosimli isitgich; 11- yuqori bosimli isitgich.

Hosil bo‘lgan bug‘ bug‘ qizdirgichda qizitilib, turbinaning yuqori bosimli qismiga yuboriladi. Bug‘ni regenerativ qizdirish, bug‘ning ikkilamchi isitilishi Renkin siklining FIKni sezilarli darajada oshiradi. Suvni regenerativ isitishning chizma tasviri quyidagi ko‘rinishga ega.

Masalalar

24. Turbinadan avvalgi parametrlari P_1=90 at, kondensatordagi bosim P_2=0,04 at. Agar nisbiy ichki FIK. η_{oi}=0,84 bo‘lsa, turbinada kengaygandan keyingi bug‘ning holatini aniqlang.

Yechish:

Mumkin bo‘lgan issiqlik tushishini aniqlaymiz.

$H_0=h_1-h_2=329{,}7$ kkal/kg.

Haqiqiy issiqlik tushishi:

$H_i=h_0\ \eta_{oi}=329{,}7\cdot 0{,}84=276{,}9$ kkal/kg=1160,2 kJ/kg.

Turbinadan avvalgi entalpiya:

$H_{2x}=h_1-H_i=808{,}2-276{,}9=531{,}3$ kkal/kg=1426 kJ/kg.

25. Regeneratsiyasiz ishlaydigan quvvati N_0=250 mVt, bosimi P_1=235 ata, t=556^{0}C, P_2 =0,35 ata bo‘lgan o‘ta qizigan bug‘ning kondensasion turbinadagi soatlik sarfi va solishtirma sarfini aniqlang. Turbinaning FIK n_{oi}=0,85, mexanik FIK n_m =0,98, elektr generatorning FIK n_1=0,37.

26. Boshlang‘ich parametrlari P_1=90, t=480^{0}C va oxirgi bosimi P_2=0,04 at bo‘yicha ishlaydigan bug‘ turbinasining mutlaq ichki FIK ni aniqlang, agar nisbiy ichki FIK η_{oi}=0,82 bo‘lsa.

27. Bug‘ turbina qurilmasi Renkin sikli bo‘yicha quyidagi parametrlar bilan ishlaydi: P_1= 9 MPa, t_1 =535^{0}C, kondensator-dagi bosim P_2= 40 kPa. Turbina va ta’minlovchi nasosning ishini, ta’minlovchi nasos ishlaganda va ishlamagandagi termik FIKlarini hamda ularning farqlarini aniqlang.

28. Boshlang‘ich parametrlari P_1= 20 bar, t_1 =400^{0}C, kondensatordagi bosim P_2=0,04 bar bo‘lgan suv bug‘i Renkin sikli bo‘yicha ishlaydi. Shu siklning bajargan ishini toping.

I BO‘LIM BO‘YICHA MUSTAQIL ISHLAR

Masala N1. Gaz aralashmasi quyidagi foizda berilgan. Quyidagilarni aniqlang:

1) Aralashmaning molyar massasini, gaz doimiysini, zichligini, normal sharoitdagi solishtirma hajmini;

2) t_1 dan $t_2$gacha bo‘lgan haroratlardagi molyar, hajmiy, massaviy issiqlik sig‘imlarini.

Aralashmaning tarkibini shifrning oxirgi soni bilan 1-jadvaldan; t_1 va t_2 larni esa shifrning oxirigidan avvalgi soni bilan 2-jadvaldan olinsin.

1-jadval

ID shifri-ning oxirgi soni	Gazning nomi	Tarkib, hajmiy, %					
		SO_2	O_2	N_2	N_2O	N_2	SO
1	Quruq tutun gazi	20	2	75	-	-	3
2	Quruq tutun gazi	18	4	78	-	-	-
3	Quruq tutun gazi	14	3	83	-	-	-
4	Quruq tutun gazi	15	3	82	-	-	-
5	Nam tutun gazi	10	8	70	12	-	-
6	Nam tutun gazi	12	6	74	8	-	-
7	Nam tutun gazi	11	8	71	8	-	2
8	Domna gazi	12	-	59	-	2	27

9	Generator gazi	6	0,2	52,8	-	13	28
0	Generator gazi	8	0,2	50	-	11,8	30

2-jadval

Ko‘rsat-kichlar	ID shifrining oxiridan avvalgi soni									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Aralashma-ning bosh-lang‘ich harorati t_1, ^{0}C	100	300	500	800	200	400	600	900	700	1000
Aralash-maning oxirgi harorati t_2, ^{0}C	500	900	1400	1200	1100	800	1300	1500	1600	2000

Masala N 2. 1 kg havo t_1 va t_2 haroratlar orasida Karno siklini bajaradi. Eng ko‘p bosim P_1 ni va eng kam bosim P_2 ni tashkil etadi.

Shu siklni termik FIK va foydali ishini aniqlang. Siklni P-V va T-S diagrammalarda chizib ko‘rsating. Kerakli kattaliklarni 3 va 4-jadvaldan oling.

3-jadval

Ko‘rsatkich	Shifrning oxiridan avvalgi soni									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Havo harorati, t_1, ^{0}C	200	300	250	205	270	310	260	310	330	270
t_3, ^{0}C	15	18	20	17	21	25	23	19	25	16

4-jadval

Ko'rsat-kich	Shifrning oxirigi soni									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Bosim, MPa, P_1	2	2,8	3	2,5	4	4,2	3,5	2,5	4,8	3
Bosim, MPa, P_3	0,16	0,1	0,15	0,12	0,125	0,1	0,11	0,13	0,14	0,17

Bu masalani yechishda asosiy fikrni Karno sikli to‘g‘risidagi mavzuga qaratish lozim bo‘ladi.

I BO‘LIM BO‘YICHA LABORATORIYA ISHLARI

1-laboratoriya ishi
O‘ZGARMAS BOSIMDA HAVONING MASSAVIY ISSIQLIK SIG‘IMINI ANIQLASH

Ishning maqsadi: Havoning issiqlik sig‘imini eksperimental o‘lchash va olingan natijani keyingi tajribalar qiymati bilan solishtirish.

I. Nazariy ma’lumotlar

Modda birlik massasini 1 K isitish uchun zarur bo‘lgan issiqlik miqdori shu moddaning ***issiqlik sig‘imi*** deyiladi. Bunda modda Δq issiqlik miqdorini yutishi natijasida uning haroratsi T_1 dan T_2 gacha ortadi.

$$\Delta q = c_m(T_2 - T_1) \tag{1.1}$$

Birlik moddaning ***o‘rtacha issiqlik sig‘imi*** quyidagicha ifodalanadi:

$$C_m = \frac{\Delta q}{(T_2 - T_1)} \tag{1.2}$$

Birlik moddaning 1K isitish uchun zarur bo‘lgan issiqlik miqdori ***haqiqiy issiqlik sig‘imi*** deyiladi:

$$C = \frac{\Delta q}{\Delta T} \tag{1.3}$$

Moddaning birlik massa haroratini 1 K orttirish uchun zarur bo‘lgan issiqlik miqdori ***solishtirma issiqlik sig‘imi*** deyiladi.

Solishtirma issiqlik sig‘imi massa, hajm va boshqa o‘lchov birliklarida ifodalanadi:

a) ***solishtirma massaviy issiqlik sig‘imi***:

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta T} \qquad \frac{J}{kg \cdot K} \tag{1.4}$$

b) ***solishtirma hajmiy issiqlik sig'imi***:

$$c' = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta T} \qquad \frac{J}{m^3 \cdot K} \tag{1.5}$$

c) ***solishtirma molyar issiqlik sig'imi***:

$$\mu C = \frac{\mu}{m} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta T} \qquad \frac{J}{mol \cdot K} \tag{1.6}$$

Jismning issiqlik sig'imi uning kimyoviy tarkibi, jism massasi va termodinamik holatiga, shuningdek dQ issiqlik bilan ta'minlangan jism holatini o'zgartirish jarayonining turiga bog'liq. Bir jinsli jismlarning issiqlik xossalari o'ziga xos issiqlik sig'imi va molyar issiqlik sig'imi tushunchalari bilan tavsiflanadi. Massasi m = 1 kg bo'lgan jismning issiqlik sig'imi xususiy birliklarda o'lchangan [J⁄(kg·K)], bir mol moddasining issiqlik sig'imi molyar birliklarda o'lchanganda [J⁄(mol·K)]. Demak massaviy issiqlik sig'imi quyidagicha aniqlanadi:

$$c = \frac{\mu C}{\mu}; \qquad (\frac{J}{kg \cdot K}) \tag{1.7}$$

bu yerda μ - moddaning molyar massasi, μC - molyar issiqlik sig'imi.

Gaz o'zgarmas bosim yoki o'zgarmas hajmda turishiga qarab, uning haroratsini 1^0C ga isitish uchun turli miqdordagi issiqlik zarur.

Izobarik issiqlik sig'imi izoxorik issiqlik sig'imidan har doim kata bo'ladi, chunki 1 kg gazni 1^0C ga p=const sharoitida isitilganda, energiyani bir qismi kengayish uchun sarflanadi.

R. Mayer c_p va c_v orasidagi bog'liqlikni o'rganib, qo'yidagi tenglamani keltirib chiqardi:

$$c_p - c_v = R \tag{1.8}$$

Yuqoridagi tenglamani ikkala qismini molekulyar massa (μ) ga ko‘paytirsak quyidagi natijani olamiz:

$$\mu C_p - \mu C_v = R = 8314\, J/(kmol \cdot K) \qquad (1.9)$$

$$C_v = \mu \frac{i}{2} \cdot R, \quad \mu C_p = \frac{i+2}{R}, \quad c_p = \frac{i+2}{2} \cdot \frac{R}{\mu} \qquad (1.10)$$

bu yerda i - gaz molekulalarining erkinlik darajasi. Havo uchun i=5 ga teng.

II. TAJRIBA QURILMASINING TASNIFI VA O‘TKAZISH TARTIBI

“TARMOQ” tugmasini bosish orqali qurilmani yoqing (15). Kompressorni-kompressorni faollashtirish tugmasi orqali yoqing (9), o‘rtacha oqim intensivligini o‘rnatish uchun kompressor tezligi regulyatoridan (8) foydalaning. Rotometr (7) shkala bo‘yicha ma’lum bir qiymatga ko‘tariladi. "Isitishni yoqish" tugmasi bilan isitgichni yoqing (13). Regulyator (14) isitgichdagi kuchlanishni va oqimni o‘zgartirishi mumkin. T_1 va T_2 harorat qiymatlari regulyator o‘lchagichning ko‘rsatkichlarida (10) ko‘rsatiladi.

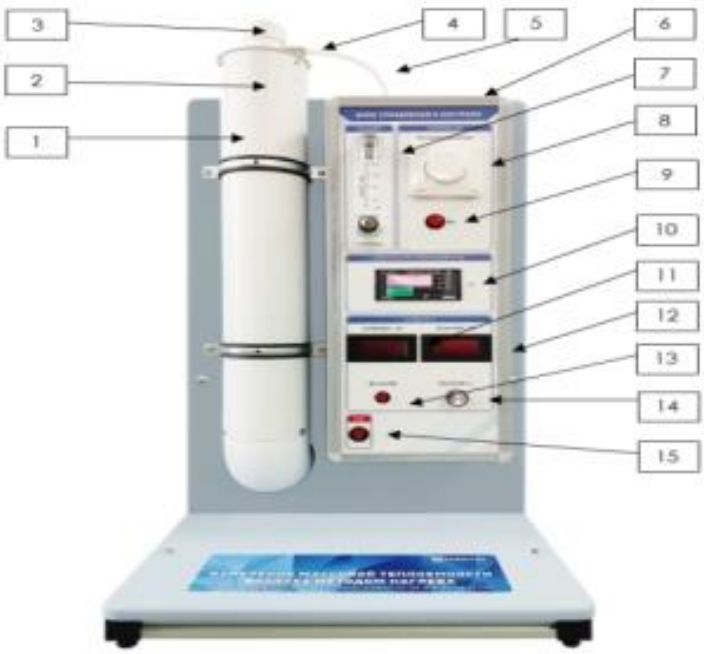
G_V ning hajmli havo sarfi suzuvchi oqim o‘lchagich (rotametr 7) bilan o‘lchanadi va keyin havo oqimi massaviy sarfga o‘tiladi. $\Delta m = G_v \cdot \rho$ bu yerda ρ - normal sharoitda havo zichligi (kg/m^3).

Issiqlik o‘tkazmaydigan korpus uchun adiabatik jarayon mavjud, isitgichda chiqarilgan barcha quvvat quvur orqali uzatilayotgan gazni isitish uchun ketadi. Isitgich tomonidan ishlab chiqarilgan N quvvati (1 sekunddagi issiqlik miqdori) quyidagicha aniqlanadi: N=Q

$$N = U \cdot I, \qquad (1.12)$$

bu yerda U - isitgichga beriladigan kuchlanish; I - isitish moslamasining tok kuchi.Turbadan T_1 kirish va T_2 chiqishidagi havo harorati termojuft

yordamida o‘lchanadi va Selsiy shkalasi bo‘yicha o‘lchagich-regulyatorining displeyida ko‘rsatiladi.



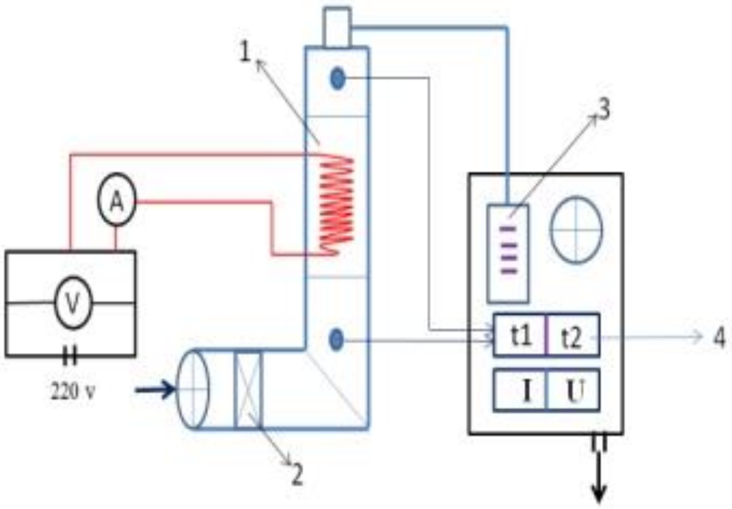
2.1-rasm. Laboratoriya qurilmasi.

1 - kalorimetr; 2 - issiqlik o‘tkazmaydigan korpus; 3 - o‘rnatilgan isitish moslamasi va ikkita termal konvertorli havo oqimi kanali; 4 - tezkor ulagich; 5– kompressordan havo etkazib berish trubkasi; 6 – nazorat qilish va nazorat qilish bloki; 7 – rotametr LZM-15ZAT (0.16-1.6 m^3/soat); 8 – kompressor tezligi regulyatori (havo ta’minoti hajmi); 9 – Kompressorni faollashtirish tugmasi; 10 – ikki kanalli harorat o‘lchagich-regulyator; 11 - ampermetr; 12 – voltmetr; 13 - isitish moslamasini yoqish tugmasi; 14 – isitish moslamasidagi kuchlanish va oqim regulyatori; 15 - o‘rnatishni yoqish uchun "TARMOQ" tugmasi.

Displeydan kerakli natijalar olingandan so‘ng (1.4) tenglamadan P=const da solishtirma massaviy issiqlik sig‘imi formulasidan foydalanamiz:

$$c_p = \frac{U \cdot I \; 10^{-3}}{\Delta m \cdot (T_2 - T_1)} \qquad (1.13)$$

1.1-jadvalda quvvat manbaining voltmetri va ampermetrining ko‘rsatkichlarini, shuningdek kalorimetrning kirish va chiqish joyidagi haroratni kiriting.



2.2-rasm. Laboratoriya qurilmasi sxemasi.
1-kalorimetr; 2-kompressor; 3-ratometr; 4-termojuft.

1.1-jadval

Tajriba natijalari jadvali

№	t_1,^{0}C	t_2,^{0}C	Δt, ^{0}C	Δm, kg/sek	U, V	I, A	N, Vt	c_p, $\frac{kJ}{kg\cdot K}$
1								
2								
3								

Har xil kuchlanish va oqim qiymatlari, havo oqimining turli qiymatlari uchun tajribani takrorlang. Issiqlik quvvatini hisoblang, xulosalar chiqaring, bajarilgan ishlar bo‘yicha hisobot tayyorlang.

III. NAZORAT SAVOLLARI

1. Issiqlik sig‘imi deb nimaga aytiladi?
2. Rotometr nima?
3. Solishtirma issiqlik sig‘imi nechchi turga bo‘linadi?
4. Kalorimetr nima vazifani bajaradi?

2-laboratoriya ishi
BOYL-MARIOTT QONUNI.

Ishning maqsadi: virtual laboratoriya oʻrnatish modelida ideal gazning izotermik jarayonini oʻrganish. Xona haroratida ideal gaz sifatida havo parametrlarini oʻlchash.

1. Porshenning turli holatlari uchun xona haroratida idishdagi havo bosimini (P) oʻlchash (C).
2. Uch xil havo miqdori uchun oʻlchangan qiymatlarni P-*v* diagrammasi sifatida koʻrsatish.
3. Boyl-Mariott qonunini tekshirish.

I. NAZARIY QISM

Molekulalari hajmi gaz hajmiga nisbatan ahamiyasiz va molekulalar oʻrtasida oʻzaro tortishish va itarish kuchlari mavjud boʻlmagan gazlarga ***ideal gaz*** deb ataladi.

Termodinamik jarayon - bu atrof-muhit bilan oʻzaro taʼsiri natijasida bir muvozanat holatidan ikkinchisiga oʻtish paytida termodinamik tizim holatining har qanday oʻzgarishiga aytiladi. Termodinamik tizimning boshlangʻich holatdan yakuniy holatga oʻtishi turli yoʻllar bilan amalga oshirilishi mumkin. Shunga koʻra, termodinamik jarayonlarning quydagi turlari mavjud, ular orasida 4 tasi asosiy: izotermik, izoxorik, izobarik va adiabatik jarayonlar. Termodinamik jarayonda tizim va atrof-muhit oʻrtasida energiya almashinuvi sodir boʻladi, bu tizim va atrof-muhit oʻrtasidagi va tizim ichidagi muvozanatning buzilishiga olib keladi. Ushbu laboratoriya ishida ideal gazning muvozanati va termodinamik jarayoni oʻrganiladi, yaʼni termodinamik tizim hajmining har bir nuqtasida holat parametrlarining qiymatlari bir xil deb taxmin qilinadi.

Termodinamik tizimning holat tenglamasi muvozanat tizimining holati parametrlarining (funksiyalarining) mustaqil holat parametrlariga bogʻliqligini anglatadi. Ideal gazning holati ikkita mustaqil oʻzgaruvchini oʻz ichiga olgan tenglama bilan tavsiflanadi va ideal gazning holatini

tavsiflovchi Mendeleyev-Klayperon tenglamasi sifatida ifodalanishi mumkin:

$$Pv = \frac{R_0 T}{\mu} = RT \quad (2.1)$$

bu yerda P - gazning mutlaq bosimi, Pa;

v - gazning solishtirma hajmi, m^3/kg;

R_0 = 8314 J/(kmol·K), universal gaz doimiysi;

R - solishtirma gaz doimiysi, J / (kg·K);

T - mutlaq harorat, K;

μ - mol massasi, kg / kmol.

Har qanday termodinamik jarayonda ideal gazning solishtirma ichki energiyasining oʻzgarishi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$u_2 - u_1 = c_v(T_2 - T_1), \quad J/kg \quad (2.2)$$

Har qanday termodinamik jarayonda ideal gaz entalpiyasining oʻzgarishi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$i_2 - i_1 = c_p(T_2 - T_1), \quad J/kg \quad (2.3)$$

Izotermik jarayonda *dT=0 yoki T=const* sharti bajariladi. Bunday termodinamik jarayon porshen moslamasida sodir boʻladi, chunki issiqlik gazga etkazib berilganda (chiqarilganda) porshen harakatlanib, harorat doimiy boʻlib qolishi uchun hajmni kamaytiradi (oshiradi). (2.2) va (2.3) ga koʻra, ideal gazning izotermik jarayoni doimiy ichki energiya va entalpiya jarayonidir. Ideal gazning izotermik jarayonini tavsiflash uchun Boyl-Mariott qonuni qoʻllaniladi: doimiy haroratda ideal gaz egallagan hajm uning bosimiga teskari proporsional ravishda oʻzgaradi:

$$pv = const.$$

Gaz hajmining oʻzgarishining solishtirma ishi:

$$l = \int_{v1}^{v2} pdv = p_1 v_1 ln\frac{v_2}{v_1} = RT\ln\frac{v_2}{v_1} = RT\ln\frac{p_1}{p_2}, \quad J/kg$$

Mavjud ish tenglama bo‘yicha hisoblanadi:

$$l_0 = -\int_{p1}^{p2} vdp = RT\ \ln\frac{p_1}{p_2},\ \ J/kg$$

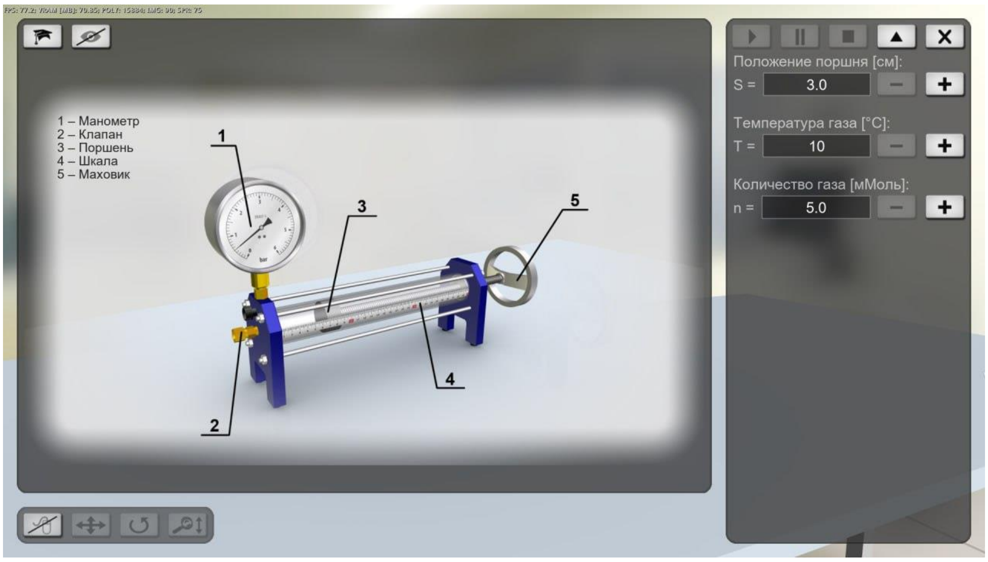
Izotermik jarayonda mavjud ish gaz hajmining o‘zgarishiga tengdir.

Termodinamikaning birinchi qonuniga ko‘ra, izotermik jarayonda ishtirok etadigan barcha issiqlik gaz hajmining o‘zgarishiga olib keladi:

$$dq = dl$$

II. VIRTUAL LABORATORIYA STENDINING TAVSIFI

Virtual laboratoriya stendida (2.1-rasm) shisha silindrsimon idish taqdim etiladi, uning ichida porshen (3) mavjud.



3.1-rasm. Displey ekranidagi laboratoriya stendining ko‘rinishi.

Porshenning holati volan (maxovik) (5) aylanishi bilan o‘zgaradi, bu virtual stend dialog oynasining (6) o‘ng tomonidagi "-" yoki "+" tugmachalari yordamida, "porshen holati" satrida amalga oshiriladi. Santimetr shkalasi (4) yordamida silindrsimon idishda porshenning holati turli sharoitlarda kuzatiladi. Termodinamik tizimning bosimi manometr bilan o‘lchanadi (1).

Tajribani o‘tkazish uchun dastlabki parametrlar virtual stendning (6) dialog oynasida o‘rnatiladi.

Virtual stend dialog oynasidagi "-" va " + " tugmalaridan foydalanib, harorat va gaz miqdorini o‘zgartirish mumkin. Shunday qilib, ushbu ko‘rsatkichlarni gazning dastlabki parametrlari sifatida qabul qilinadi.

III. TAJRIBA BAJARISH TARTIBI

Ushbu virtual laboratoriya tajribasi xona haroratidagi ideal gazlar uchun Boyl – Mariott qonunini sinovdan o‘tkazadi, shu bilan birga havo ideal gaz sifatida olinadi. Silindrsimon idishning hajmi porshenning harakati tufayli o‘zgaradi, shu bilan birga undagi havo bosimi o‘lchanadi.

1. Displey ekranining o‘ng tomonidagi dialog oynasidagi " - " yoki " + "tugmachalari yordamida "gaz harorati", "gaz miqdori" boshlang‘ich parametrlarini o‘rnating.

2. "-" yoki " + " tugmalaridan foydalanib, "porshen holati" qatorida volanni aylantiriladi va shu bilan porshenni kamera ichida harakatlantiriladi. Porshenning holatini gorizontal santimetr shkalasi bo‘yicha kuzatib boriladi.

3. Porshenning har bir holati uchun P [bar] bosim o‘lchagich bilan bosim o‘lchanadi. Bosim miqdorini [bar] dan [kPa] ga o‘tkazish uchun nisbatdan foydalaning: 1bar =100 kPa.

4. Barcha o‘lchovlarni amalga oshirgandan so‘ng, ushbu ko‘rsatkichlarni kuzatish jadvaliga va hisoblash natijalariga kiriting.

5. Tajriba turli xil dastlabki ma’lumotlar bilan kamida 3 marta takrorlanadi.

IV. TAJRIBA NATIJALARINI QAYTA ISHLASH

1. Porshenning maydonini (F) hisoblash:

$$F = \pi \cdot d^2/4 \tag{2.4}$$

bu yerda d – porshenning diametri, sm.

2. Har bir porshen holati uchun silindrsimon idishdagi gazning joriy hajmini hisoblash:

$$V = F \cdot S + V_0 \tag{2.5}$$

bu yerda f – porshenning maydoni, sm^2;

S - porshenning santimetr shkalasi bo‘yicha holati, sm;

V_0 - manometrdagi "o‘lik" havo hajmi, sm^3.

3. Gaz bosimi va hajmining o‘lchangan qiymatlari uchun ideal gaz holati tenglamasining tengligiga ishonch hosil qilinadi:

$$P \cdot V = \nu \cdot R_0 \cdot T \tag{2.6}$$

bu yerda *P* – gaz bosimi, kPa;

V- gaz hajmi, sm^3;

$n = \nu$ - gaz miqdori, mmol, (ν tajriba boshlanishidan oldin havo ochiq klapan orqali kiradigan V_0 ning boshlang‘ich hajmiga bog‘liq);

R_0 - universal gaz doimiysi, J/(mol·K);

T- gaz harorati, K.

4. Agar harorat T bo‘lsa gaz miqdori n tajriba jarayonida o‘zgarmaydi, ideal gaz holati tenglamasining alohida holati Boyl-Mariott qonuni:

$$P \cdot V = const.$$

Porshenning har bir holati uchun P·V mahsulotlarini hisoblanadi va Boyl-Mariott qonunining qonuniyligini tasdiqlanadi.

5. ν gaz miqdorining uch xil qiymati uchun p=f(V) bog‘liqligini chizing.

6. Tajribani turli xil manbalar bilan takrorlang.

2.1-jadval

Ko‘rsatkich va hisoblash natijalari jadvali

		Tajriba 1	Tajriba 2	Tajriba 3
Porshenning holati, sm	S_1			
	S_2			
	S_3			
Har bir porshen holati uchun gaz bosimi, 1bar =100 kPa	P_1			
	P_2			
	P_3			
Har bir porshen holati uchun gaz hajmi, sm^3	V_1			
	V_2			
	V_3			
Gaz harorati, K	T			
Gaz miqdori, mmol	n			
Porshen maydoni, m^2	F			
P·V har bir porshen holati uchun, J	$P_1 \cdot V_1$			
	$P_2 \cdot V_2$			
	$P_3 \cdot V_3$			

V. HISOBLASH PARAMETRLARI:

Porshenning diametri d=4 sm;
Silindrsimon idishning uzunligi l = 30 sm;
Manometrining "qoldiq " hajmi V_0= 3 sm^3;
Universal gaz doimiysi R_0 = 8,314 kJ/ (kmol·K).

II BO‘LIM

ISSIQLIK UZATILISHI.
ISSIQLIK O‘TKAZUVCHANLIK

Jism mikrozarrachalarining tartibsiz harakati orqali issiqlikning uzatilishi issiqlik o‘tkazuvchanlik deyiladi. Issiqlik o‘tkazuvchanlikning asosiy qonuni Furye qonunidir:

$$Q = -\lambda \text{ grad } t \; F \tau, \qquad \text{Vt} \qquad (2.1)$$

yoki

$$q = -\lambda \text{ grad } t, \qquad \text{Vt/m}^2 \qquad (2.2)$$

bu yerda Q – issiqlik oqimi , Vt ;
q – issiqlik oqimining zichligi , q = Q/F , Vt/m^2
λ – issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti , $Vt/m \cdot {}^0C$;
grad t – harorat gradiyenti , ${}^0C/m$;
F – sirt yuzasi , m^2 ;
τ – vaqt , s ;

Ifodadagi (–) ishorasi issiqlik oqimi bilan harorat gradiyentini qarama-qarshi yo‘nalganini bildiradi.

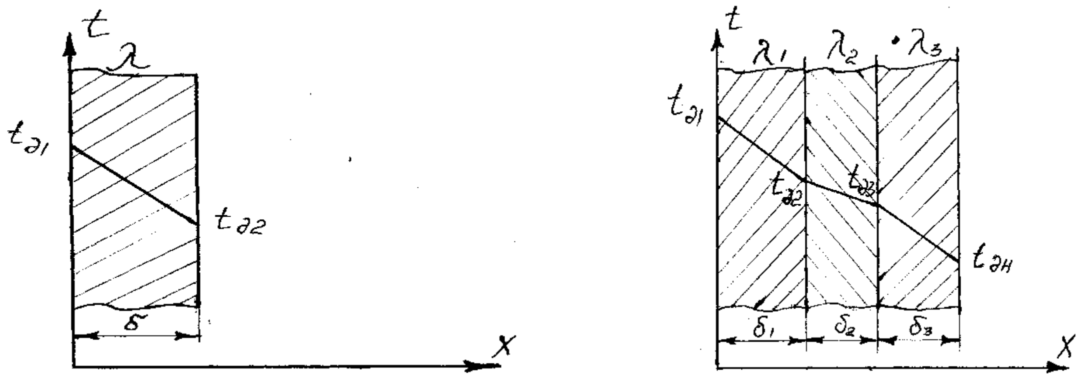
Bir qatlamli yassi devorning issiqlik o‘tkazuvchanligi:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2) F, \qquad \text{Vt} \qquad (2.3)$$

bu yerda t_1 va t_2 – devor sirtlaridagi xaroratlar, ${}^0C$;
δ – devorning qalinligi, m.

Ko‘p qatlamli yassi devorning issiqlik o‘tkazuvchanligi:

$$Q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \ldots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}} F, \qquad \text{Vt} \qquad (2.4)$$



2.1-rasm. Bir va ko‘p qatlamli yassi devorning issiqlik o‘tkazuvchanligi

BIRINCHI TARTIBLI CHEGARA SHARTIDAGI SILINDRIK DEVORNING ISSIQLIK O‘TKAZUVCHANLIGI

Bir qatlamli silindrik devor uchun issiqlik oqimining chiziqli zichligi:

$$q_l = \frac{2\pi(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1}}, \qquad \text{Vt/m} \qquad (2.5)$$

Ko‘p qatlamli silindrik devor uchun issiqlik oqimining chiziqli zichligi:

$$q_l = \frac{2\pi(t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{\lambda_i}\ln\frac{d_{i+1}}{d_i}}, \qquad \text{Vt/m.} \qquad (2.6)$$

UCHINCHI TARTIBLI CHEGARA SHARTIDAGI ISSIQLIK O‘TKAZUVCHANLIK (ISSIQLIK UZATILISHI)

Issiq issiqlik tashuvchidan sovuq issiqlik tashuvchiga o‘rtadagi devor orqali issiqlikning uzatilishi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$Q = k\,(t_{c1} - t_{c2})\,F, \qquad \text{Bt} \qquad (2.7)$$

bu yerda : k – issiqlik uzatish koeffitsiyenti , $Vt/m^{2} \cdot {}^{0}C$;

t_{c1} – issiq issiqlik tashuvchining harorati, ${}^{0}C$;

t_{c2} – sovuq issiqlik tashuvchining harorati, ${}^{0}C$;

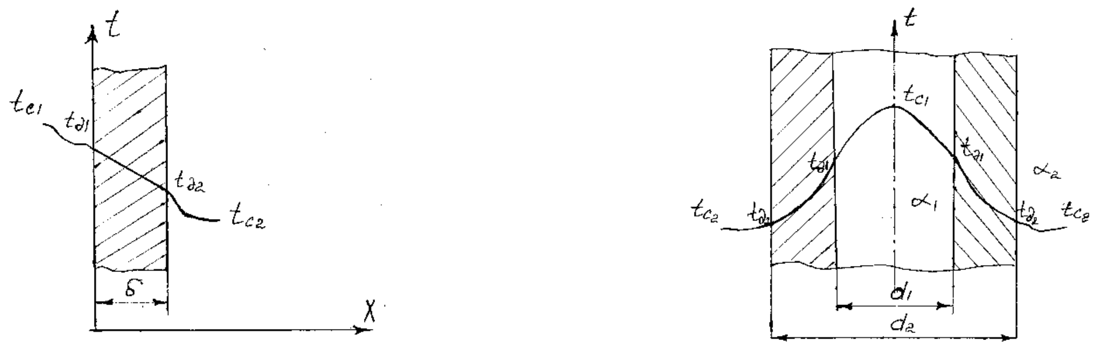
Bir qatlamli yassi devordan issiqlik uzatilishida issiqlik uzatish koeffitsiyenti

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \qquad (2.8)$$

bu yerda: α_1 va α_2 – devor sirtlaridagi issiqlik berish koeffitsiyentlari, $Vt/m^{2} \cdot {}^{0}C$;

λ – devorning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, $Vt/m \cdot {}^{0}C$;

δ – devorning qalinligi, m.



2.2-rasm. Bir va ko‘p qatlamli yassi devorning uchinchi tartibli issiqlik o‘tkazuvchanligi

Bir qatlamli yassi va silindrik devordan issiqlik uzatilishi

Ko‘p qatlamli devor uchun issiqlik uzatish koeffitsiyenti:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \qquad (2.9)$$

Silindrik devordan issiqlik uzatilishi:

$$Q = k_l \, \pi \, l \, (t_{c1} - t_{c2}), \quad Bt \qquad (2.10)$$

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}}, \quad \text{Vt/m}^{2}\cdot{}^{0}\text{C} \qquad (2.11)$$

Masalalar

1. Uzunligi ℓ=5 m, balandligi h = 4 m va qalinligi δ=250 mm bo‘lgan qizil g‘isht devordan o‘tgan issiqlik oqimini toping. Devor sirtlaridagi haroratlar t_1 =110 ^{0}C, t_2 =40 ^{0}C va qizil g‘ishtning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ = 0,7 Vt/m·^{0}C ga teng.

2. Diametri d_1/d_2=40/50 mm, haroratlari t_{d1}=200 ^{0}C, t_{d2}=100 ^{0}C va issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ=50 Vt/m·K ga teng bo‘lganda quvurning issiqlik oqimi zichligini toping.

3. d_2/d_1=0,15/0,10 m bo‘lgan bir qatlamli silindrik devorning issiqlik oqimi zichligini toping. Bunda haroratlar t_{d1}=100 ^{0}C, t_{d2}=80 ^{0}C va λ=40 Vt/m·K ga teng.

4. Qozonning ichki diametri d_1=1,2 m, izolyasiya qalinligi δ=100 mm, haroratlari t_{d1}=140 ^{0}C, t_{d2}=40 ^{0}C, o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ=0,1 Vt/mK ga teng bo‘lganda silindrik devorning issiqlik oqimi zichligini toping.

5. Diametrlari d_1/d_2=36/62 mm, uzunligi 2 m va haroratlari t_{d1}=80 ^{0}C, t_{d2}=50 ^{0}C bo‘lgan quvurdan Q=200 Vt issiqlik oqib o‘tadi. Izolyasion materialning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentini toping.

6. Diametrlari d_1/d_2=34/60 mm, uzunligi 1,5 m va issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ=0,7 Vt/mK ga teng bo‘lgan quvurdan Q=300 Vt issiqlik oqib o‘tadi. Haroratlar farqini toping.

7. Qozonning ichki diametri d_1=1,2 m, izolyasiya qalinligi δ=100 mm, haroratlari t_{d1}=140 ^{0}C, t_{d2}=40 ^{0}C, o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ=0,1 Vt/mK ga teng bo‘lganda silindrik devorning issiqlik oqimi zichligini toping.

8. Qozondagi gazning harorati t_{c1} = 1100 ^{0}C, suvning harorati t_{c2} = 200 ^{0}C, yassi devordan o‘tgan issiqlik oqimining zichligi q =50000 Vt/m^2 va devordan suvga issiqlik berish koeffitsiyenti α_2 = 5700 Vt/m$^{2}\cdot{}^{0}$C ga teng. Agar devor materialining issiqlik

o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti λ = 56 Vt/m·^{0}C , qalinligi δ=12 mm bo‘lsa, issiqlik uzatish koeffitsiyenti, gazlardan devorga issiqlik berish koeffitsiyenti va qozon devori sirtlaridagi haroratlarini aniqlang.

Konvektiv issiqlik almashinuvi

Qattiq sirt bilan suyuqlik yoki gaz orasidagi issiqlik almashinuvi konvektiv issiqlik almashinuvi deyiladi. Konvektiv issiqlik almashinuvi Nyuton–Rixman qonuni bilan ifodalanadi:

$$Q = \alpha (t_{q.c} - t_c) F , \qquad Vt \qquad (2.12)$$

bu yerda : α – issiqlik berish koeffitsiyenti , Vt/m^2·^{0}C ;

$t_{q.s}$ – qattiq sirtning harorati, ^{0}C ;

t_c – suyuq sirtning harorati, ^{0}C .

Nusselt mezoni $Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$;

Reynolds mezoni $Re_c = \frac{\omega d}{\gamma}$;

Prandtl mezoni $Pr_c = \frac{\gamma}{a}$;

Grasgoff mezoni $Gr_c = \frac{g\beta\Delta t d^3}{\gamma^2}$,

ω – tezlik , m/s ;

g – erkin tushish tezlanishi , m^2/ s ;

γ – kinematik qovushqoqlik koeffitsiyenti , m^2/s;

β = 1/ T – termik kengayish koeffitsiyenti.

Erkin konveksiya uchun mezonlar tenglamasi:

Gorizontal joylashgan quvurlar , agar $10^3 < Gr_c\, Pr_c < 10^9$ bo‘lsa,

$$Nu = 0,5 (Gr_c\, Pr_c)^{0,25} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{\kappa.c}} \right)^{0.25} . \qquad (2.13)$$

Vertikal quvurlar va yassi vertikal sirtlar laminar holatda agar $10^3 < Gr_c\, Pr_c > 10^9$ bo‘lsa,

$$Nu = 0{,}76\, (Gr_c\, Pr_c)^{0{,}25} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{к.c}}\right)^{0.25}. \qquad (2.14)$$

Vertikal quvurlar va yassi vertikal sirtlar turbulent holatda agar $Gr_c\, Pr_c < 10^9$ bo‘lsa,

$$Nu = 0{,}15\, (Gr_c\, Pr_c)^{0{,}33} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{к.c}}\right)^{0.25}. \qquad (2.15)$$

Majburiy konveksiya uchun mezonlar tenglamasi:

Gorizontal plastina atrofida turbulent harakatlanishi

$$Nu = 0{,}037\, Re_c^{0{,}8}\, Pr_c^{0{,}43} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{к.c}}\right)^{0.25}. \qquad (2.16)$$

Gorizontal plastina atrofida laminar harakatlanishi

$$Nu = 0{,}66\, Re_c^{0{,}5}\, Pr_c^{0{,}43} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{к.c}}\right)^{0.25}. \qquad (2.17)$$

Quvur ichida turbulent harakatlanishi

$$Nu = 0{,}021\, Re_c^{0{,}8}\, Pr_c^{0{,}43} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{к.c}}\right)^{0.25}. \qquad (2.18)$$

Quvur ichida laminar harakatlanishi

$$Nu = 0{,}15\, Re_c^{0{,}33}\, Pr_c^{0{,}43} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{к.c}}\right)^{0.25}. \qquad (2.19)$$

Quvurlarni ko‘ndalang oqib o‘tishida
$(10 < Re_c < 10^3)$

$$Nu = 0{,}5\, Re_c^{0{,}5}\, Pr_c^{0{,}38} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{к.c}}\right)^{0.25}; \qquad (2.20)$$

havo uchun $Nu = 0{,}44\, Re_c^{0{,}5}$.

Quvurlarni ko‘ndalang oqib o‘tishida

($10^3 < Re_c < 10^9$)

$$Nu = 0,25\, Re_c^{0,6}\, Pr_c^{0,38} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{к.с}}\right)^{0.25}; \qquad (2.21)$$

havo uchun

$$Nu = 0,22\, Re_c^{0,6}. \qquad (2.22)$$

Koridorli joylashgan quvurlar to‘plamidan oqib o‘tishida

$$Nu = 0,23\, Re_c^{0,65}\, Pr_c^{0,33} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{к.с}}\right)^{0.25}. \qquad (2.23)$$

Shaxmatli joylashgan quvurlar to‘plamidan oqib o‘tishida

$$Nu = 0,41\, Re_c^{0,6}\, Pr_c^{0,33} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{к.с}}\right)^{0.25}. \qquad (2.24)$$

Bu tenglamalardagi ko‘paytma $\left(\frac{Pr_c}{Pr_{к.с}}\right)^{0.25}$ havo uchun 1 ga teng deb olinadi.

Masalalar

9. Kvadrat kesimli kanalning eni a=10 mm va uzunligi *l*= 1600 mm ga teng. Kanaldan, suv *w*=4 m/c tezlikda oqib o‘tadi. Suvning harorati t_s= 40 ^{0}C va kanalning ichki sirtidagi harorat $t_{q.s.}$= 90^0 C bo‘lganda kanal devoridan suvga issiqlik berish koeffitsiyenti va issiqlik oqimini aniqlang.

10. Diametri 76 mm va balandligi 4 m bo‘lgan vertikal izolyasiyalanmagan quvur havoga issiqlik beradi. Havoning harorati 20 ^{0}C va quvur sirtidagi harorat $t_{q.s}$ = 80 ^{0}C ga teng. Quvurdan chiqqan issiqlikni aniqlang.

Nurlanish usulida issiqlik uzatilishi

Nurlanish deb fazoda jismlar o‘rtasida ichki energiyaning tarqalishiga aytiladi. Bunda ichki energiyaning ikki marta aylanishi sodir bo‘ladi:

jismning ichki energiyasi nur energiyasiga aylanadi va elektromagnitik to‘lqinlar yordamida kenglikda uzatiladi (nurlanish bilan), o‘z navbatida, elektr magnit to‘lqinlar energiyasi oqimi (nur energiyasi) boshqa jism tomonidan yutilganda ichki energiyaga aylanadi.

Jism sirtidan nurlanish orqali uzatilgan energiyasi:

$$E=c\frac{T}{100}^{4} \qquad (2.25)$$

c - nurlanish koeffitsiyenti.

Ikkita parallel sirtlar orasidagi issiqlik almashuvi:

$$Q=c_0\,\varepsilon_{kel}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)-\left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]\cdot F\ ; \quad \text{Вт.} \qquad (2.26)$$

$c_0=5{,}67\,\frac{Vt}{m^2\cdot K}$ - mutlaq qora jismning nurlanish koeffitsiyenti;

$\varepsilon_{kel}=\dfrac{1}{\dfrac{1}{E_1}+\dfrac{1}{E_2}-1}$ - keltirilgan qorayish darajasi;

ε_1 va ε_2 - sirtlarning qorayish darajasi;

T_1,T_2- sirtlarning mutlaq harorati, K.

Masalalar

11. Diametri 120 mm bo‘lgan quvur 400x400 mm^2 kesimli kanalga o‘rnatilgan. Quvur izolyatsiyasining sirtidagi harorat 127^{0}C. G‘isht kanal 1 m quvurdan nurlanish orqali yo‘qolgan issiqlikni aniqlang. Sirtlardagi qorayish darajasi 0,93 ga teng deb olinsin.

Yechish:

$$\varepsilon_{kel}=\frac{1}{\dfrac{1}{\varepsilon_1}+\dfrac{F}{F_2}\left(\dfrac{1}{\varepsilon_2}-1\right)}=\frac{1}{\dfrac{1}{0{,}93}+0{,}238\left(\dfrac{1}{0{,}93}-1\right)}=0{,}915$$

1 m quvurdan nurlanish orqali yo‘qolgan issiqlik:

$$Q=\varepsilon_{kel} S_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right) - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F_1 = 0{,}915 \cdot 5{,}67 \cdot 0{,}377 \left[\left(\frac{400}{100} \right)^4 - \left(\frac{300}{100} \right)^4 \right] = 342 \text{ Vt}$$

12. Diametri d=0,5 mm va uzunligi λ=2,5 m bo‘lgan elektr isitgich simning haroratini aniqlang. Simning qorayish darajasi ε=0,9; atrofidagi armaturaning harorati 15^0C, isitgichning quvvati 0,4 kVt ga teng. Konveksiya hisobiga olinmasin.

13. Tashqi diametri 200 mm bo‘lgan bug‘ quvuri harorati 30 ^{0}C li xonaga o‘rnatilgan. Bug‘ quvuri sirtidagi harorat 400 ^{0}C. Bug‘ quvurning birlik uzunlikda nurlanish va konveksiya orqali uzatgan issiqligini aniqlang. Quvurning qorayishi darajasi ε =0,8 ga teng.

Issiqlik almashuv apparatlari

Issiqlikni issiq issiqlik tashuvchidan (gaz) sovuq issiqlik tashuvchiga uzatib beradigan qurilmalarga issiqlik almashinuv apparatlari deyiladi.

Issiqlik almashinuv apparatlarini ishlash uslubiga ko‘ra rekuperativ, regenerativ va aralashtiruvchi apparatlarga bo‘lish mumkin.

Texnikada rekuperativ issiqlik almashinuv apparatlari keng ishlatiladi.

Rekuperativ issiqlik almashinuv apparatlari to‘g‘ri oqimli, teskari yo‘nalishli va ko‘ndalang oqimli apparatga bo‘linadi.

To‘g‘ri oqimli issiqlik almashinuv apparatlarida issiq va sovuq suyuqliklar parallel ravishda oqadi. $\rightrightarrows$

Teskari oqimli apparatlarida bir-biriga qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi. $\rightleftarrows$

Issiqlik almashinuv apparatlarini hisoblashda issiqlik balansi tuziladi va uning yuzasi aniqlanadi.

$$Q = G_1 \cdot C_{P1} \left(t_1' - t_1'' \right) = G_2 \cdot C_{P2} \left(t_2'' - t_2' \right) \text{ , Vt} \qquad (2.27)$$

bu yerda: G_1 – issiq suyuqlik sarfi, kg/s;

G_2 – sovuq suyuqlik sarfi, kg/s;

c_{P1} - issiq suyuqlikning issiqlik sig‘imi, kJ/kg·^{0}C;

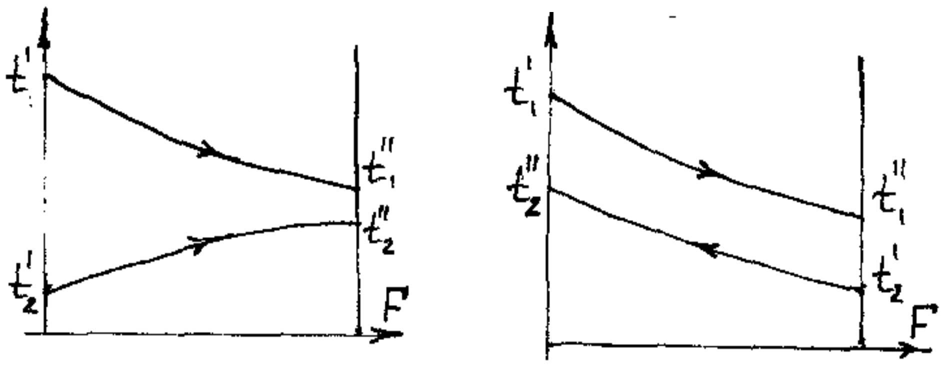
c_{P2} - sovuq suyuqlikning issiqlik sig‘imi, kJ/kg·^{0}C;

$t_1^{'}$ - issiq suyuqlikning kirishdagi harorati, ^{0}C;

$t_1^{''}$ - issiq suyuqlikning chiqishdagi harorati, ^{0}C;

$t_2^{'}$ - sovuq suyuqlikning kirishdagi harorati, ^{0}C;

$t_2^{''}$ - sovuq suyuqlikning chiqishdagi harorati, ^{0}C.



a b

28-rasm. a) to‘g‘ri oqimli; b) teskari oqimli.

Issiqlik almashinuv yuzasi issiqlik uzatish ifodasidan topiladi.

$$Q = k\,\Delta t\,F \quad , \qquad \text{Vt} \qquad (2.28)$$

k – issiqlik uzatish koeffitsiyenti; Vt/m^2·K;

Δt – o‘rtacha logarifmik haroratlar farqi, ^{0}C;

F – sirt yuzasi, m^2.

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\text{кат}} - \Delta t_{\text{кич}}}{\ln \dfrac{\Delta t_{\text{кат}}}{\Delta t_{\text{кич}}}}$$

Masalalar

14. Ichki yonuv dvigatelining teskari yo‘nalishli suvli moy sovitgich moy 65 ^{0}C dan 55 ^{0}C gacha sovitilyapti. Sovituvchi suvning kirishdagi harorati 16 ^{0}C va chiqishdagi harorati 25 ^{0}C. Moyning sarfi 0,8 kg/sek. Issiqlik uzatish koeffitsiyenti 280 Vt/m^2·^{0}C, moyning issiqlik sig‘imi 2,45 kJ/kg·^{0}C. Issiqlik almashuv yuzasini va sovuq suvning sarfini toping.

Yechish:

$Q = G_1 C_{P1}\,\Delta t_1 = 0{,}8 \cdot 2{,}45(65-55) = 19{,}6$ kVt.

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{кат} - \Delta t_{кич}}{\ln \dfrac{\Delta t_{кат}}{\Delta t_{кич}}} = \frac{(65-55)-(55-16)}{\ln \dfrac{65-55}{55-16}} = 39{,}5\ ^0C.$$

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} = \frac{19600}{280 \cdot 39.5} = 1{,}77\ m^2$$

$$G = \frac{Q}{C_{P2} \cdot \Delta t_2} = \frac{19{,}6}{4{,}19 \cdot 9} = 0{,}52 \text{ kg/sek.}$$

15. Qarama-qarshi yo‘nalishli issiqlik almashuv apparatidagi issiq suvning 1. kirishdagi harorati 80^0C, chiqishdagi harorati 60^0C va sarfi G_1= 2 kg/s. Sovuq suvning kirishdagi harorati 10 ^{0}C va sarfi G_2= 0,75 kg/s. Issiqlik berish koeffitsiyentlari α_1=2000 Vt/m^2·K, α_2= 4000 Vt/m^2 ·K va devorning termik qarshiligi ma’lum bo‘lsa, $\frac{\delta}{\lambda} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{100}$ issiqlik almashuv apparatining sirt yuzasini aniqlang.

16. Quvur-quvurda qarama-qarshi yo‘nalishli issiqlik almashuv apparatida suv 15^0C dan 45^0C gacha isitiladi. Suvning sarfi G_2= 3200 kg/soat. Tashqi quvurning ichki diametri D=48 mm va bitta seksiya quvurining uzunligi l = 1,9 m. Issiq suv diametri d_2/d_1=35/32 mm bo‘lgan po‘lat quvurda harakatlanib kirishdagi harorati $t_1^1=95^0$C ga teng. Issiq suvning sarfi G_1= 2130 kg/soat. Quvur-quvurda qarama-qarshi yo‘nalishli issiqlik almashuv apparatining isitish yuzasini va seksiyalar sonini aniqlang.

II BO‘LIM BO‘YICHA MUSTAQIL ISHLAR

Masala N 1. 150/165 diametrga ega bo‘lgan harakatlanuvchi quvur 1 m asbestli izolyasiya bilan qoplangan. Quvurning ichki yuzasidagi harorati t_1 ga, izolyasiyaning tashqi tomondagi harorati t_2 ga teng. 1 m quvurdagi yo‘qolgan issiqlikni aniqlang. Kerakli kattaliklarni 1 va 2-jadvaldan olinsin.

1-jadval

Ko‘rsatkich	ID shifrining oxiridan avvalgi soni									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Yuzaning ichki harorati t_1, ^0C	300	350	280	370	400	320	250	180	330	270
Yuzaning tashqi harorati t_2, ^0C	50	45	40	55	60	43	52	38	42	52

2-jadval

Ko‘rsatkich	ID shifrining oxirigi soni									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Izolyasii qalinligi δ, mm	30	40	50	60	70	35	45	55	65	75

Masala N 2. Suvdan quvurning ichki devoriga berilayotgan issiqlik berish koeffitsientini aniqlang. Quvur diametri d, mm, devorning harorati t_d, quvurdagi suvning harorati t_s va quvurdagi suvning tezligi w, m/s variant bo‘yicha jadvaldan tanlab olinadi.

3-jadval

Ko‘rsatkichlar	Variantni jurnal tartib raqami bo‘yicha tanlanadi									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Devorning harorati t_d, ^0C	30	35	20	25	40	45	30	40	35	25
Quvurdagi suvning harorati t_s, ^0C	60	65	50	55	70	75	70	80	70	60

4-jadval

Ko‘rsatkichlar	Variantni jurnal tartib raqami bo‘yicha tanlanadi									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Quvur diametri, d, mm	17	15	18	16	19	20	22	21	14	23
Quvurdagi suvning tezligi w, m/s	0,5	0,6	0,4	0,45	0,7	0,75	0,5	0,7	0,6	0,45

1. Harorat orqali suvning fizik xossalarini aniqlang.

2. Reynolds sonini suv oqimlari uchun aniqlaymiz $Re = \frac{wd_0}{\gamma}$

3. Nusselt sonini aniqlaymiz:

Laminar holat uchun: $Nu = 0{,}15 \cdot \varepsilon_1 \cdot Re^{0,33} \cdot Pr_c^{0,43} \cdot Gr^{0,1} \left(\frac{Pr_c}{Pr_\partial}\right)^{0,25}$

Turbulent holat uchun: $Nu = 0{,}021\, Re^{0.8} Pr_c^{0,43} \left(\frac{Pr_c}{Pr_\partial}\right)^{0,25}$

4. Suvdan quvurning devoriga berilayotgan α ni aniqlaymiz: $\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}$, $\varepsilon_1=1$.

5-jadval

Suvning fizik xossalari

t, °C	$P*10^{-5}$, Па	ρ, кг/м^3	h', кДж/кг	C_p, кДж/(кгК)	$\lambda*1\bar{0}^2$, Вт/мК	$a*10^8$, м^2/с	$\mu*1\bar{0}^6$, Па с	$\gamma*1\bar{0}^6$, м^2/с	$\beta*10^4$, К$^{-1}$	$\sigma*10^4$, Н/м	Pr
0	1,013	999,9	0	4,212	55,1	13,1	1788	1,789	-0,63	756,4	13,67
10	1,013	999,7	42,04	4,191	57,4	13,7	1306	1,306	+0,7	741,6	9,52
20	1,013	998,2	63,91	4,183	59,9	14,3	1004	1,006	1,82	726,9	7,02
30	1,013	995,7	125,7	4,174	61,8	14,9	801,5	0,805	3,21	712,2	5,42
40	1,013	992,2	167,5	4,174	63,5	15,3	653,3	0,659	3,87	696,5	4,31
50	1,013	988,1	209,3	4,174	64,8	15,7	549,4	0,556	4,49	676,9	3,54
60	1,013	983,2	251,1	4,179	65,9	16,0	469,9	0,478	5,11	662,2	2,98
70	1,013	977,8	293	4,187	66,8	16,3	406,1	0,415	5,70	643,5	2,55
80	1,013	971,8	335,0	4,195	67,4	16,6	355,1	0,365	6,32	625,9	2,21
90	1,013	965,3	377,0	4,208	68,0	16,8	314,9	0,326	6,95	607,2	1,95
100	1,013	958,4	419,1	4,220	68,3	16,9	282,5	0,295	7,52	588,6	1,75
110	1,43	951,0	461,4	4,233	68,5	17,0	259,0	0,272	8,08	569,0	1,60
120	1,98	943,1	503,7	4,250	68,6	17,0	237,4	0,252	6,64	548,4	1,47
130	2,70	934,8	546,4	4,266	68,6	17,2	217,8	0,233	9,19	528,8	1,36
140	3,61	926,1	589,1	4,287	68,5	17,2	201,1	0,217	9,72	507,2	1,26
150	4,76	917,0	632,2	4,313	68,4	17,3	186,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	6,18	907,4	675,4	4,346	68,3	17,3	173,6	0,191	10,7	466,0	1,10
170	7,92	897,3	719,3	4,380	67,9	17,3	162,8	0,181	11,3	443,4	1,05
180	10,03	886,9	763,3	4,417	67,4	17,2	153,0	0,173	11,9	422,8	1,00
190	12,55	876,0	807,8	4,459	67,0	17,1	144,2	0,165	12,6	400,2	0,96
200	15,55	863,0	852,5	4,505	66,3	17,0	136,4	0,158	13,3	376,7	0,93
210	19,08	852,8	897,7	4,555	65,5	16,9	130,5	0,153	14,1	354,1	0,91
220	23,20	840,3	943,7	4,614	64,5	16,6	124,6	0,148	14,8	331,6	0,89
230	27,98	827,3	990,2	4,681	63,7	16,4	119,7	0,145	15,9	310,0	0,88
240	33,48	813,48	1037,5	4,756	62,8	16,2	114,8	0,141	16,8	285,5	0,87
250	39,78	799,0	1085,7	4,844	61,8	15,9	109,9	0,137	18,1	261,9	0,86

II BO‘LIM BO‘YICHA LABORATORIYA ISHLARI

1-laboratoriya ishi
QUVUR SHAKLIDAGI IZOLYATSION MATERIALLARNING ISSIQLIK O‘TKAZUVCHANLIK KOEFFITSIYENTINI ANIQLASH

Ishning maqsadi:

1. «Issiqlik uzatilishi» bo‘limining issiqlik o‘tkazuvchanlik nazariyasiga oid bilimlarni mustahkamlash.

2. Furye qonuni va quvur shaklidagi jismlarning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentlarini aniqlash uchun tadbiq etilishini ko‘rsatish.

3. Talabalarda tajriba o‘tkazish malakasini hosil qilish.

I. NAZARIY QISM

Issiqlik o‘tkazuvchanlik issiqlik uzatish usullaridan biridir. **Issiqlik o‘tkazuvchanlik** deb, jism elemyentar zarrachalarining tebranma harakati tufayli issiqlikning uzatilishiga aytiladi. Issiqlik o‘tkazuvchanlikning asosiy qonuni – Furye qonunidir. Furye qonuniga asosan elemyentning dF izotermik sirt yuzasidan dτ vaqt ichida o‘tgan issiqlik oqimi dQ harorat gradiyentiga to‘g‘ri proporsionaldir:

$$dQ = -\lambda \text{ gradt } dF\, d\tau \qquad (1.1)$$

Bu tenglamani integrallab silindrik qatlam uchun quyidagi ifodani yozamiz.

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{2\pi\lambda\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1}} \qquad (1.2)$$

bu yerda: λ – issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, Wt/m·K;

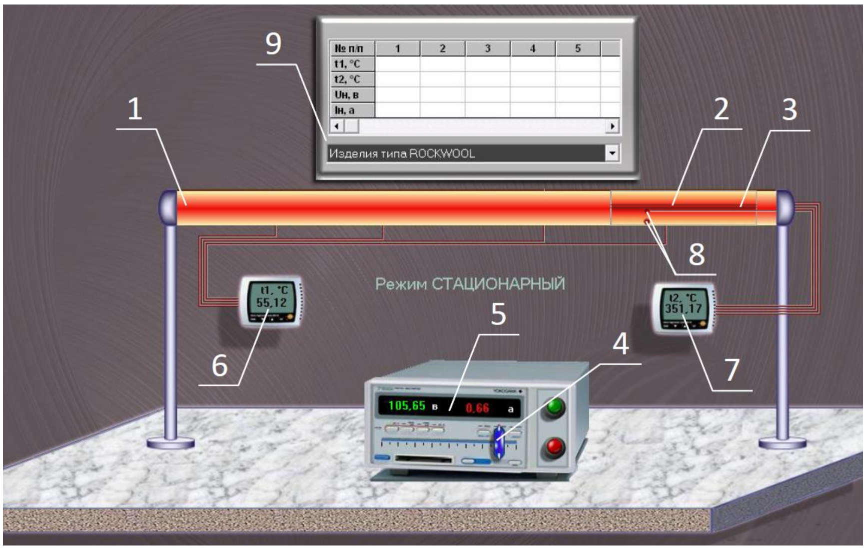
t_1, t_2 – quvurning ichki va tashqi sirtlarining haroratlari, ^0C;

ℓ – quvurning uzunligi, m;

d_1, d_2 – quvurning ichki va tashqi diametrlari, mm.

Agar ℓ, d_1, d_2, t_1, t_2, Q oʻlchansa, (1.2) tenglama orqali issiqlik oʻtkazuvchanlik koeffitsiyentini aniqlash mumkin. Issiqlik oʻtkazuvchanlik koeffitsiyenti vaqt birligi ichida 1 m^2 izotermik sirt yuzasidan haroratlar oʻzgarishi 1^0C boʻlganda oʻtgan issiqlik oqimiga teng. λ - har xil moddalar uchun har xil qiymatga ega va u moddaning tuzilishiga, hajmiy ogʻirligiga, namligiga, bosimi va haroratiga bogʻliq boʻladi.

II. QURILMANING CHIZMA TASVIRI VA UNING BAYONI



1.1-rasm. Laboratoriya qurilmasi

1-izolyatsion material; 2-silindrsimon quvur; 3-elektr isitgich; 4-avtotransformator; 5-tok kuchi va kuchlanish; 6-tashqi termojuft; 7-ichki termojuft; 8- ichki va tashqi xromel-kopeye termojuft simlari.

Tekshirilayotgan material 1 silindrik qatlam koʻrinishida boʻlib, uning diametrlari d_1= 0,05 m, d_2= 0,02 m, l=1 ga teng . Ushbu material metal quvur 2 ni tashqi yuzasiga qoplangan va quvurning tashqi diametrdan ancha kattadir. Issiqlik oqimining manbai boʻlib, elektr isitgich 3 (TEN) hisoblanadi, bu esa ikkinchi quvurni ichiga joylashtirilgan va qurilmani yoqishni taminlovchi blok 5 ga ega boʻlgan avtotransformator 4 orqali yoqiladi. Boshqaruvchi knopkalar orqali avtotransformator qiymatini oshirib tok kuchi va kuchlanishni qiymatlari aniqlanadi. Izolyatsion

materialning issiqlik o‘tkazuvchanligini aniqlash uchun uning ichki va tashqi sirtlaridan 6 va 7 termoparalar orqali haroratini aniqlab olamiz.

Barqaror holat, yani t_1 va t_2 haroratlarni o‘zgarmasdan qolish holatiga yetgandan so‘ng, qiymatlarni o‘lchash jadvaliga yoziladi.

1.1-jadval

Tajriba natijalari jadvali

№	I, A	ΔU,V	$t_{1o'r}$	$t_{2o'r}$	Q, Wt	$\Delta t_{o‘r}$, ^{0}C	λ, Wt/m·K
1.							
2.							

III. NATIJALARINI HISOBLASH TARTIBI

1. Issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentini hisoblash quyidagi ifoda orqali olib boriladi:

$$\lambda = \frac{Q \ln \frac{d_2}{d_1}}{2\pi\, \lambda (t_{1o'r} - t_{2o'r})} \qquad (1.3)$$

2. Issiqlik olinishining quvvati quyidagi ifodadan:

$$Q = I \cdot \Delta U \qquad (1.4)$$

3. Issiqlik izolyatsiyaning o‘rtacha harorati:

$$t_{o‘r} = \frac{t_{1o'r} + t_{2o'r}}{2} \qquad (1.5)$$

4. Hisoblashni bir necha marotaba amalga oshirish zarur.

5. Olingan qiymatlar orqali masshtabda issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyentini o‘rtacha haroratga bog‘liqlik grafigini chiziladi. Grafikdan foydalangan holda haroratni issiqlik o‘tkazuvchanlikka bog‘liqligini ifodalovchi koeffitsiyent - β aniqlanadi. Grafikni qo‘llayotganda uni to‘g‘ri

chiziq tenglamasi, ya’ni $\lambda_l = \lambda_0 (1+\beta\ \mathrm{tg}\varphi)$ tenglamasi orqali ifodalash kerak bo‘ladi.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Ishning maqsadini ifodalab bering va unga qanday erishish mumkinligini tushuntirib bering.
2. Tajriba qurilmasining asosiy elementlarini va ularni nimaga ishlatilishini aytib bering .
3. Issiqlik o‘tkazuvchanlikni ushbu qurilma yordamida o‘lchash uchun qanday kattaliklarni o‘lchash mumkin?
4. Issiqlik o‘tkazuvchanlik asosida issiqlikni berilishini fizik ma’nosi nimadan iborat ?

2-laboratoriya ishi

HAVONING ERKIN HARAKATLANISHIDA GORIZONTAL QUVURNING ISSIQLIK BERISH KOEFFITSIYENTINI ANIQLASH

Ishning maqsadi: Erkin konveksiya sharoitida atrof-muhit havosi bilan har xil shakl va o‘lchamdagi gorizontal quvurlarda issiqlik almashinuvini o‘rganish.

1. Har xil issiqlik uzatish mexanizmlarini aniqlash.
2. Kombinatsiyalangan issiqlik almashinuvining asosiy xarakteristikalarini hisoblash va eksperimental aniqlash.
3. Issiqlik nurlanishi va konveksiya orqali quvurlar yuzasidan uzatiladigan issiqlik miqdorini aniqlash.
4. Gorizontal quvurlarning issiqlik berish koeffitsiyentini va sirtning qorayish darajasini aniqlash.

I. NAZARIY QISM

Issiqlik uzatishning uchta asosiy turi mavjud bo‘lib, ularning har biri o‘zining fizik xususiyatiga ega. Hamda o‘z qonunlari, tenglamalari bilan

tavsiflanib, o‘ziga xos hisoblash va eksperimental tadqiqot usullariga ega. Bular: – ***issiqlik o‘tkazuvchanlik***, ***konveksiya*** va ***nurlanish***.

Jismlarning atrof-muhit bilan issiqlik almashinuvi hodisalarida issiqlik uzatishning asosiy uchta turlarining barchasi ko‘pincha bir vaqtning o‘zida harakat qiladi. Qizdirilgan va sovuq zarrachalarning zichliklari farqi hisobiga suyuqlik (gaz)ning harakatlanishi ***erkin harakatlanish*** deb ataladi.

Agar havoda joylashgan quvur qizigan bo‘lsa, havo qiziydi va zichligi kamayadi. Natijada havoning qizigan zarrachalari yuqoriga ko‘tariladi, ularning o‘rnini sovuq havo zarrachalari egallaydi. Havoning harakatlanish tezligi qancha yuqori bo‘lsa, shuningdyek devor va atrof-muhit haroratlari farqi qanchalik katta bo‘lsa, uzatilayotgan issiqlik miqdori ham shuncha ko‘p bo‘ladi.

Demak, issiqlik berish birinchi navbatda devor va atrof-muhit haroratlari farqiga ko‘ra aniqlanadi. Bundan tashqari, issiqlik berish jadalligi muhitning fizik xususiyatlariga, qattiq sirtning shakliga, holatiga va boshqa omillarga bog‘liq.

Issiqlik berish koeffitsiyenti Nyuton-Rixman qonuni bo‘yicha aniqlanadi.

$$\alpha = \frac{Q_k}{F(t_{q.s} - t_m)}, \quad (\text{Wt/m}^2\cdot\text{K}) \qquad (2.1)$$

bu yerda: Q_k – qizdirilgan quvurdan konvyeksiya usulida ajralib chiqayotgan issiqlik miqdori, Wt;

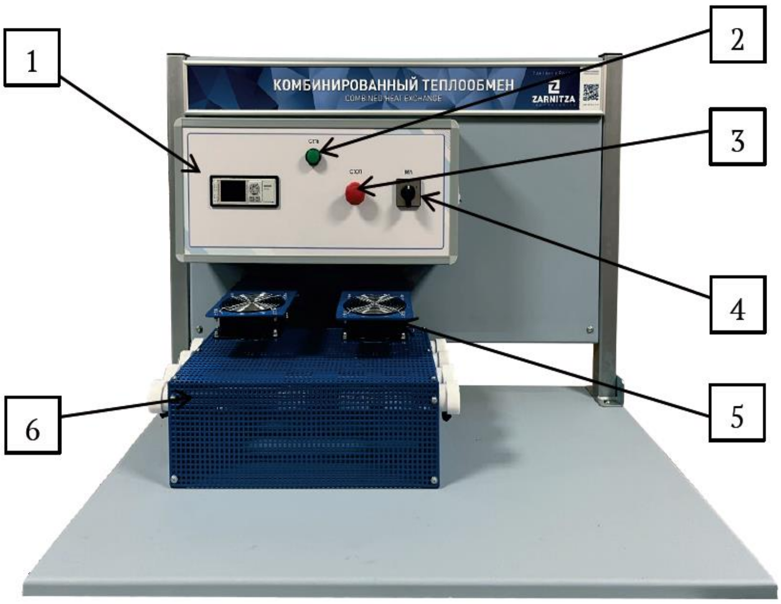
F – quvur sirti yuzasi, m^2;

$t_{q.s}$ – qattiq sirtning o‘rtacha harorati, ^0C;

t_m – muhitning (suyuqlik yoki havo) harorati, ^0C.

II. TAJRIBA QURILMASINING BAYONI

Tajriba qurilmasi (2.1-rasm) nisbatan barqaror haroratli xonaga joylashgan. Laboratoriya ishlari 2.1-rasmda ko‘rsatilgan "kombinatsiyalangan issiqlik uzatish" o‘quv va laboratoriya uskunalari to‘plamida amalga oshiriladi.



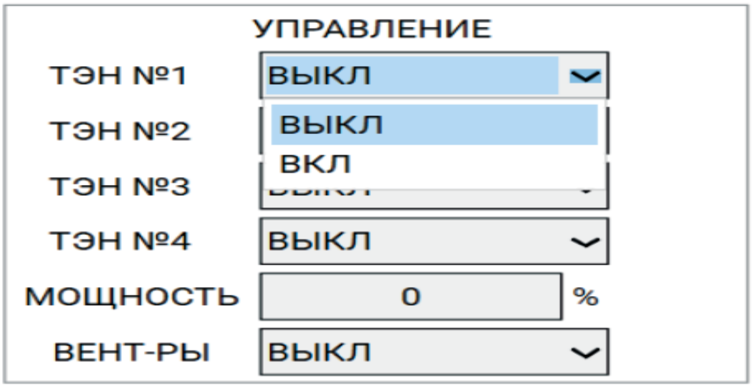
2.1-rasm. Tajriba (kombinatsiyalangan issiqlik uzatish) qurilmasi

1- Boshqaruv va koʻrsatish moduli; 2- «SET» stendidagi elektr taʼminoti koʻrsatkichi; 3- «STOP» stendni oʻchirish uchun favqulodda vaziyat tugmasi; 4- stend quvvat kaliti; 5- sovutish ventilyatorlari; 6- har xil dizayndagi eksperimental modullar (himoya korpusida).

Ushbu tajriba qurilmasida 4 ta quvur mavjud boʻlib, 1- silliq (sayqallangan) quvur diametri 25 mm; 2- boʻyalgan quvur diametri 25 mm; 3- quvur diametri 32 mm; 4- toʻrtburchak shaklidagi quvur 25x25. Quvurlarning barchasini uzunligi 0.5m ga teng.

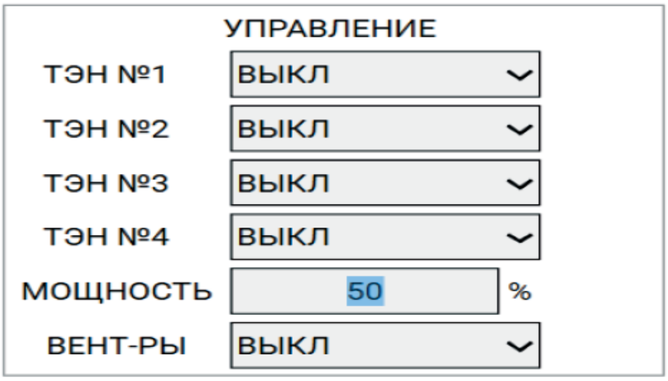
III. TAJRIBANI BAJARISH TARTIBI

1. Laboratoriyaning sxemasi va uskunalarning joylashuvi bilan tanishing. Tajriba qurilmasi elementlarining ishlashga yaroqliligini vizual tarzda tekshiring.
2. Tajriba qurilmasini kamida 500 Vt quvvatga ega 220V 50Hz tarmoqqa ulang.
3. Boshqaruv modulining yon devoridagi va boshqaruv modulining old panelidagi kalitni yoqing. "Tarmoq" indikator chirogʻi yashil rangga aylanishi kerak.
4. Boshqaruv va koʻrsatish modulidan tajriba oʻtkaziladigan quvur tanlanadi va yoqiladi (2.2-arsm).



2.2-rasm. Boshqaruv panelining bo‘limlari

5. "Quvvat" oynasida quvvatni 15-20% oralig‘ida o‘rnating (2.3-rasm), so‘ngra "OK" tugmasini bosib tanlovni tasdiqlang.



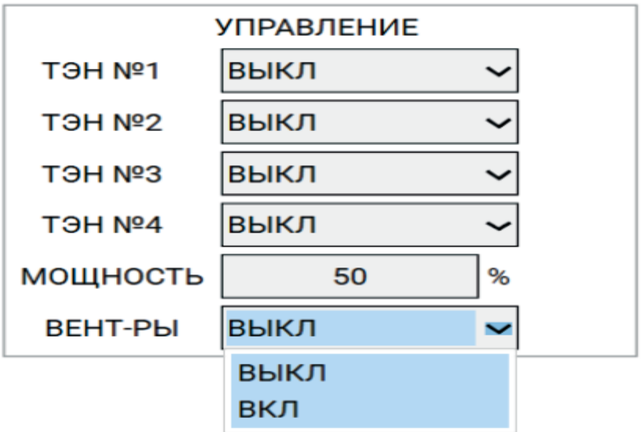
2.3-rasm. Boshqaruv panelining quvvat bo‘limi

6. O‘tish rejimining boshlanishi bilan "Joriy qiymatlar" oynasida displeyda ko‘rsatilgan sirt haroratining o‘zgarishini kuzating. (2.4-rasm)



2.4-rasm. Boshqaruv panelining haroratlar bo‘limi

7. Har bir quvurda tajriba o‘tkazganda dastlabgi quvur sovutiladi ventilyator orqali. (2.5-rasm)



2.5-rasm. Boshqaruv panelining ventilyator bo‘limi

8. Quvur sirtida hosil bo‘lgan haroratlar 1-jadvalga yoziladi va hisob kitob ishlari bajariladi.

IV. TAJRIBA NATIJALARINI HISOBLASH TARTIBI

Tajriba quvuridan atrofdagi havoga konvyeksiya usulida issiqlik berilishi quyidagi tyenglikdan aniqlanadi:

$$Q_k = Q_0 - Q_n, \quad \text{(Wt)} \qquad (2.2)$$

bu yerda: Q_0 = W – quvur ichidagi elektr isitgichdan ajralgan to‘liq issiqlik miqdori, Wt;

Issiqlik nurlanishi natijasida quvurning sirtidan atrof muhitga beriladigan issiqlik oqimi Stefan-Boltsman qonuniga muvofiq aniqlanadi: Q_n – quvurdan nurlanish usulida issiqlik miqdorining ajralishi, Wt.

$$Q_n = \varepsilon \cdot C_0 \cdot F\left[\left(\frac{T_{q.s.}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{m.}}{100}\right)^4\right], \text{ Wt} \qquad (2.3)$$

bu yerda: $T_{q.s}$, T_m – tajriba quvuri sirtining va atrof-muhitning mutlaq harorati, ε - quvurning tashqi yuzasining qorayish darajasi, ε = 0,066 -

silliqlangan sirt uchun ε = 0,12 - bo‘yalgan sirt uchun. $C_0 = 5.76$ – keltirilgan nurlanish koeffitsiyenti, Wt/m^2·K^4 ;

Tajriba quvuri haroratini hisoblash uchun uchta nuqtada o‘lchangan qiymatdan o‘rtachasini olamiz.

$$t_{q.s.} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} \qquad (2.4)$$

(2.1) tenglikdan qurilmaning kamida to‘rt holatda ishlashidagi α qiymatini hisoblab, grafik chizamiz.

$$\alpha = f\ (t_{q.s.} - t_s)$$

Olingan grafik bog‘liqlik faqat tadqiqot qilinayotgan tajriba quvuri uchungina o‘rinli. Tajriba natijalarini boshqa quvurlarga ham tatbiq qilish uchun hisoblash natijalarini mezon bog‘liqliklar yordamida umumlashtirishi lozim bo‘ladi.

$$Nu_{S,d} = f\,(Gr \cdot Pr)_{S,d}, \qquad (2.5)$$

bu yerda: $Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$ – Nussyelt mezoni;

$$Gr = \frac{g\,\beta\,\Delta t\,d^3}{\nu^2}$$ – Grasgof mezoni;

$$Pr = \frac{\nu}{à}$$ – Prandtl mezoni;

λ – havoning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, Wt/m·K;

a – havoning harorat o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti; m^2/s;

ν – havoning kinematik qovushqoqlik koeffitsiyenti, m^2/s;

Δt – haroratlar farqi, ^{0}C;

$\beta = \frac{1}{t_m + 273}$ – havoning hajmiy kyengayish koeffitsiyenti, K^{-1};

g = 9,811 – erkin tushish tyezlanishi, m^2/s;

Fizik parametrlar (λ, a, ν, β, Pr) 2.1-jadvaldan xonadagi havoning harorati bo‘yicha olinadi. Qurilmaning har bir holatiga olingan o‘xshashlik mezonlari qiymatlarini logarifmik koordinatalar tizimidagi grafikka kiritiladi (2.6-rasm).

Olingan to‘g‘ri chiziq tyenglamasi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$LgNu_{s,d}=lgC + nlg(Gr,Pr)_{s,d} \quad (2.6)$$

2.1-jadval.

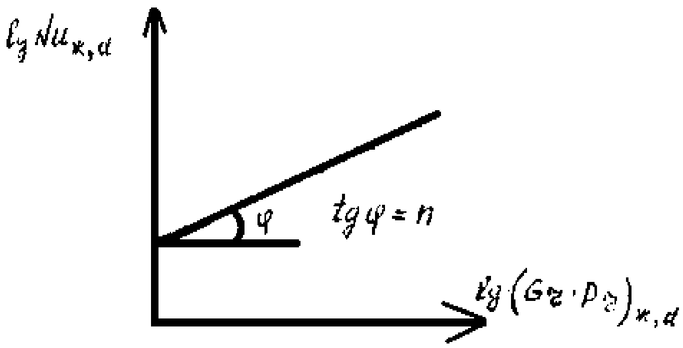
O‘lchangan va hisoblangan parametrlar

№	O‘lchangan va hisoblangan parametrlar								
	t_0, ℃	t_1, ℃	t_2, ℃	t_3, ℃	$t_{o'r}$, ℃	W,Vt	Q_n, Vt	Q_k, Vt	$\alpha, (\frac{Vt}{m^2K})$
Silliq sayqallangan quvur diametri 25 mm									
1.									
2.									
Bo‘yalgan quvur diametri 25 mm									
1.									
2.									
Quvur diametri 32 mm									
1.									
2.									
To‘rtburchak shaklidagi quvur 25x25 mm									
1.									
2.									

Daraja ko‘rsatkich n to‘g‘ri chizishning va absissa o‘qiga burchak tangensining qiyaligi bo‘yicha aniqlanadi, doimiylik C esa to‘g‘ri chiziqning istalgan nuqtasi uchun quyidagi nisbatdan aniqlanadi:

$$C = \frac{Nu_{\tilde{N},d}}{(Gr \cdot \mathrm{Pr})^{n}_{\tilde{N},d}}. \qquad (2.7)$$

$$n = \mathrm{tg}\varphi$$



2.6-rasm.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Erkin konveksiya haqida tushuncha bering.
2. Issiqlik beruvchanlik qaysi qonunga tegishli?
3. Quvurda erkin harakatlanishda issiqlik berish qanday sodir bo‘ladi?
4. Ishda qanday hisoblar bajarildi?

ADABIYOTLAR

1. Koroli M.A., Umarjonova F. Sh., Xoshimova F.A. Termodinamika. Issiqlik texnikasi. darslik. - Toshkent: BOOK TRADE KO, 2022 - 188 b.

2. Mavjudova Sh.S. Termodinamika va issiqlik texnikasi. Darslik, – Toshkent.: Fan va texnologiyalar nashriyoti-matba uyi, 2022 -212 b.

2. Mavjudova Sh.S. Issiqlik texnikasi, O´quv qo´llanma.-Toshkent: O´zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashiriyoti, 2023 – 176 b.

3. Umarjonova F. Sh., Isaxodjaev X.S., Mavjudova Sh.S., Alimova L.O., Axmatova S.R. “Issiqlik texnikasi” fanidan laboratoriya ishlari to‘plami. Uslubiy qo‘llanma. – Toshkent, ToshDTU. 2014-94 b.

4. Uzoqov G‘.N., Qodirov I.N., Isaxodjaev X.S. Termodinamika. O‘quv qo‘llanma -Toshkent: Voris-Nashiriyot, 2018 – 178 b

5. Zohidov R.A., Alimova M.M., Mavjudova SH.S. Texnik termodinamika va issiqlik uzatilishi fanidan masalalar to‘plami. – Toshkent.: TDTU, 2006 -120 b.

MUNDARIJA

Muharrir: Alimova S.A.

Musahhih: Adilkhodjayeva Sh.M.